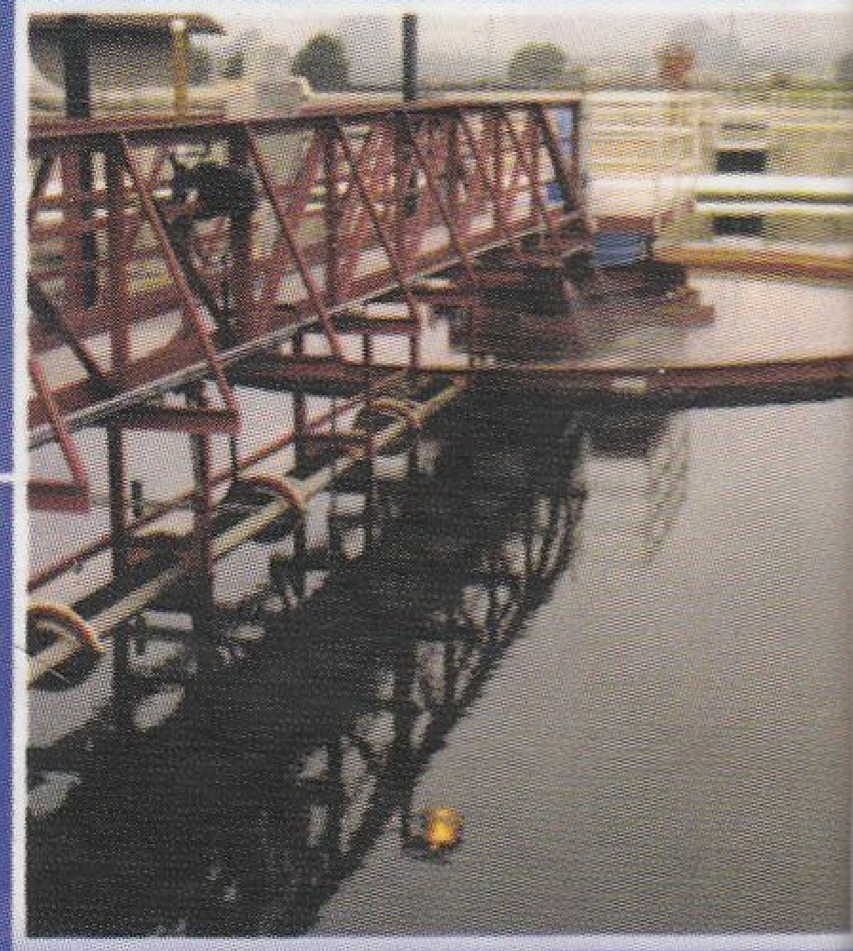
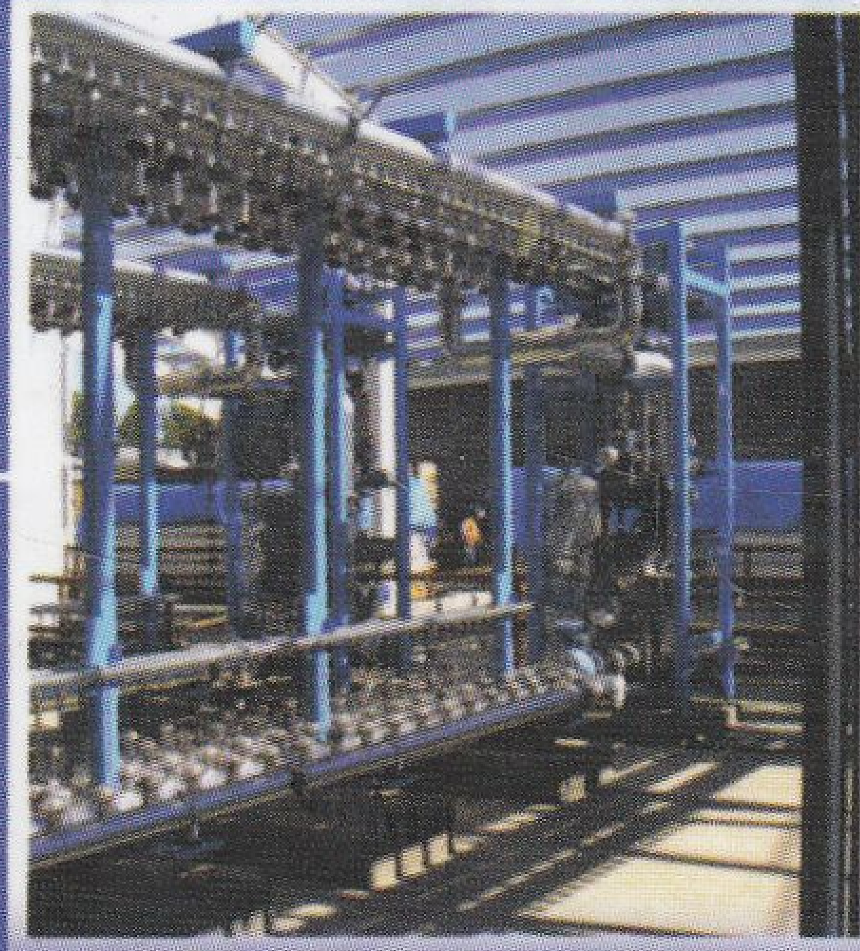
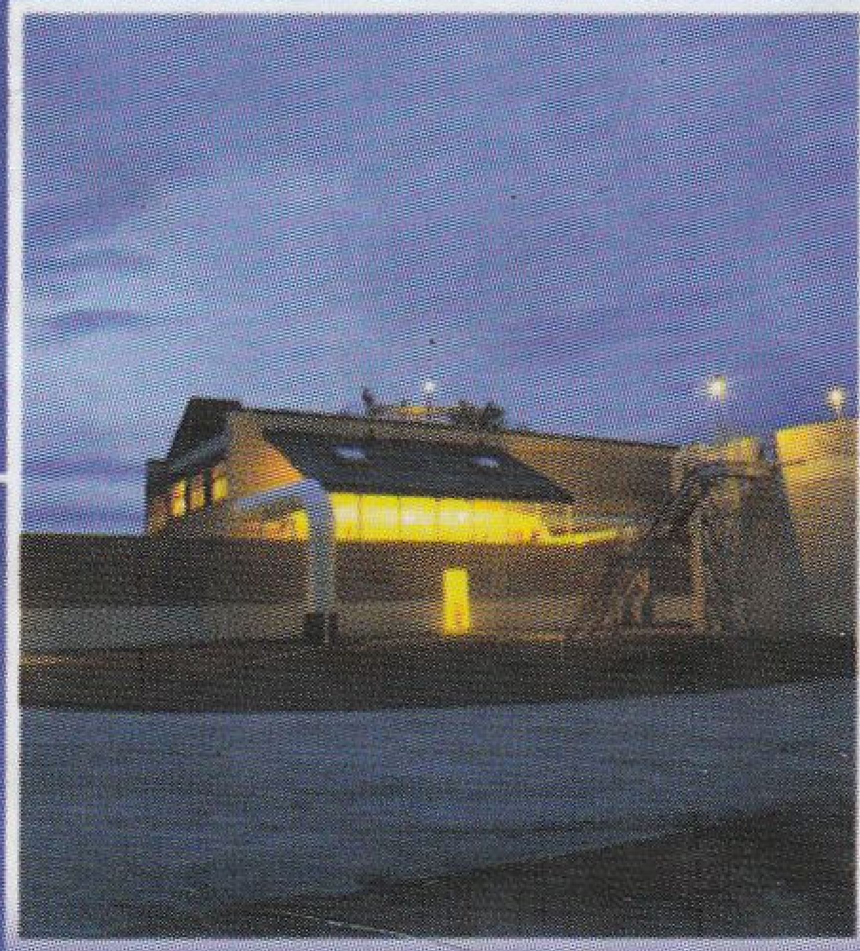
مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
المنظمة العربية للترجمة


مارك ج. هامر
مارك ج. هامر، جونيور

الماء وتقنية مياه الصرف

ترجمة

يوسف رضوان

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

الماء وتقنية مياه الصرف

المنظمة العربية للترجمة

مارك ج. هامر   مارك ج. هامر، جونيور

الماء وتقنية مياه الصرف

ترجمة

يوسف رضوان

مراجعة

د. محمد عبد الستار الشيخلي

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**

الفهرسة أثناء النشر - إعداد المنظمة العربية للترجمة
هامر، مارك ج.
الماء وتقنية مياه الصرف/ مارك ج. هامر ومارك ج. هامر، جونيور؛ ترجمة يوسف رضوان؛ مراجعة محمد عبد الستار الشيخلي.
1278 ص. - (تقنيات استراتيجية ومتقدمة - المياه؛ 2)
يشتمل على فهرس.
ISBN 978-9953-82-388-1
1. المياه - تحليل. 2. الصرف الصحي. أ. العنوان. ب. هامر، مارك ج.، جونيور (مؤلف). ج. رضوان، يوسف (مترجم). د. الشيخلي، محمد عبد الستار (مراجع). هـ. السلسلة.
628.1

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات تتبناها المنظمة العربية للترجمة»



المنظمة العربية للترجمة
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 - 113
الحمراء - بيروت 2090 1103 - لبنان
هاتف: 753031 - 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)
e-mail: info@aot.org.lb - http://www.aot.org.lb

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 - 113
الحمراء - بيروت 2407 2034 - لبنان
تلفون: 750084 - 750085 - 750086 (9611)
برقياً: «مرعربي» - بيروت / فاكس: 750088 (9611)
e-mail: info@caus.org.lb - Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، آذار (مارس) 2011

المحتويـــــات

تقديـــم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدّم لهذه السلسلة التي جرى انتقاؤها في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والتقني، ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة، ويقع في إطار تلبية عدد من السياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ/2007م الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نص على ما يلي: (وجوب حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال، والإعلام، والإنترنت وغيرها).

ثانياً: «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية» في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد إحدى عشرة تقنية إستراتيجية هي: المياه، والبترول والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات، والضوئيات، والفضاء، والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعّل أيضاً ما جاء في البند الأول عن حضور اللغة العربية في الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات

مختلفة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب الهامة، وبخاصة العلمية، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع مفيد.

تشتمل السلسلة على ثلاثة كتب في كلٍّ من التقنيات التي حددتها «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية». واختيرت الكتب بحيث يكون **الأول** مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون **الثاني** كتاباً جامعياً، و**الثالث** كتاباً عاماً موجهاً إلى عامّة المهتمين، وقد يغطي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وعليه، تشتمل سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة على ما مجموعه ثلاثة وثلاثين كتاباً مترجماً، كما خُصِّص كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة كمعجم للمصطلح.

وقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه يكون قد صدر بعد عام 2000، وأن لا يكون ضيِّق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي يترجم عنها مكتوبة باللغة التي ألّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور هذه المجموعة من الكتب، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز. كما أشكر اللجنة العلمية للمجموعة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض، 20 ربيع الأول 1431 هـ
رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

تمهيـــد

يقدم هذا الكتاب تغطية شاملة للمبادئ الأساسيّة وللأساليب الراهنة المتبعة في معالجة الماء، وتوزيعها، وجمع مياه الصرف، ومعالجتها، ومعالجة الحمأة، والمعالجة المتقدمة لمياه الصرف، وإعادة استعمال الماء. وهدف الكتاب نقل المعرفة الخاصة بهذه المواضيع إلى أشخاص مهتمين بمتابعة دراستهم في التقنية والهندسة الصحية على امتداد العالم، وإلى أشخاص مهتمين بتشغيل وصيانة منشآت الماء ومياه الصرف.

تُحدَّث الطبعة السادسة، ومواضيع الكتاب، وأشكاله والمسائل الواردة فيه بهدف إدراج أفكار ومفاهيم وقضايا جديدة تتعلق ببيئة الماء. وفي هذه الطبعة، تمت مراجعة النص وإضافة مسائل جديدة للفصول التي تناولت المعالجة، ومعالجة مياه الصرف، ومعالجة متقدمة لمياه الصرف، وإعادة استعمال الماء.

وانطلاقاً من تجربتنا في التعليم نعتقد بأن قرّاءنا سيستفيدون من عرض الكتاب لفروع معرفية ذات تطبيقات مميزة في التجهيز بالماء وفي إدارة مياه الصرف. لذا، غطت الفصول التمهيدية أساسيات الكيمياء، وعلم الحياة، والهيدروليك، والهيدرولوجيا المناسبة للتطبيق في الدراسات الصحية. كما تم أيضاً التمهيد لمسألة نوعية الماء وذلك لفهم أسباب اختيار عمليات معالجة الماء ومياه الصرف.

لقد كانت طريقة عرض أساليب التجهيز بالماء وإدارة مياه الصرف تقليدية، إذ غطت توزيع الماء، ومعالجتها، وتشغيل أنظمتها بشكل مستقل عن أنظمة جمع مياه الصرف، ومعالجتها، وتشغيلها. لقد كاملنا بعناية مواضيع الكتاب في كل مجال معرفي بحيث يستطيع القارئ أن يفهم بوضوح العلاقات البينية بين عمليات كل وحدة على انفراد ومن ثم مكاملتها مع الأنظمة ككل. أما المعالجة المتقدمة لمياه الصرف وإعادة استعمال

الماء، وهي مواضيع الفصل الأخير، فالاهتمام بها متزايد في مناطق كثيرة للحد من التلوّث والاستخدام المفيد لمصادر الماء.

يُهدَف من الاستخدام الواسع للرسوم التوضيحية زيادة فهم الأفكار والمفاهيم وتبيان المعدات والمرافق الجديدة، إضافة إلى ذلك فإن الحسابات البسيطة العديدة ضمن الأمثلة تساعد القارئ على تطبيق المعادلات والمخططات والبيانات المجدولَة. لقد أوردت أجوبة لبعض المسائل والواجبات، بشكلٍ أساسي لمساعدة المهتمين بدراسات مستقلة.

قدَّمت في الفصل الأول "مقدمة"، لمناقشة محتويات الكتاب.

ملاحــق

للدخول إلى مواد مكملة إضافية على الإنترنت، يحتاج المدرِّسون لطلب رمز دخول المدرِّس. زُر موقع www.prenhall.com وانقر على رابط Instructor Resource Center ثم على Register Today للحصول على رمز دخول المدرس. وفي غضون ساعتين تلي التسجيل ستستلم بريداً إلكترونياً يؤكد التسجيل متضمناً رمز دخول المدرس. وحالما تستلم رمزك، اذهب إلى الموقع وادخل بهذا الرمز للحصول على التعليمات كاملة حول تنزيل المواد التي ترغب باستخدامها.

شكــر

الشكر الخاص لجوزيف أر. في. فلورا، من جامعة كارولينا الجنوبية، وإلى إينوس سي. إننيس من جامعة تكساس بسانت أنطونيو، وبليم ستونغ من كلية هوري - جورج تاون للتقنية، وروبرت شارب من كلية مانهاتن، لمساعدتهم في تنقيح نص الطبعة السادسة.

وإننا لنأمل أن يكون هذا الكتاب مساعداً لكل من الزملاء الحاليين والمستقبليين الذين يدَرّسون، ويدْرُسون ويعملون في مجال بيئة الماء.

مارك جي. هامر
مارك جي. هامر جونيو

الفصل 1

مقدمـــة

تصف الدورة المائية حركة الماء في الطبيعة. وتحمل كتل الرياح البحرية بخار الماء من المحيطات إلى فوق مناطق اليابسة. يُضاف البخار القادم من نتح النباتات في مياه المناطق الداخلية، إلى رطوبة الغلاف الجوي ليهطل في آخر المطاف مطراً أو ثلجاً. وقد يتغلغل الهطول المطري في الأرض، أو ينساب إلى المجاري المائية السطحية، أو يُمتص من قبل النبات، أو يتبخر مجدداً. وتسيل الجريانات الجوفية والسطحية في النهاية تجاه المحيط لتجديد الدورة الهيدرولوجية.

يتدخل الإنسان في الدورة المائية محدثاً دورات مائية صنعية (شكل 1-1). كما تقوم بعض التجمعات بسحب المياه الجوفية للتجهيز العام بالماء، غير أن الأغلبية تعتمد على المصادر السطحية. وبعد معالجة المياه يتم توزيعها إلى المنازل والمصانع. تجمع مياه الصرف في نظام مجارير وتُنقل إلى المحطات حيث تتم معالجتها قبل طرحها. توفّر الطرق التقليدية استرداداً جزئياً فقط للنوعية الأولى للمياه. ويقدّم التخفيف الذي يجري في المجاري المائية السطحية والتنقية التي توفرها الطبيعة تحسينً إضافياً لنوعية الماء. غير أن المدينة التالية على امتداد اتجاه مجرى النهر تسحب على الأغلب مياهاً لتلبية حاجة المدينة إليها، إنما قبل التجدد التام للمياه. وبدورها ستعالج المدينة مياه صرفها عبر التخفيف ومن ثم تقوم

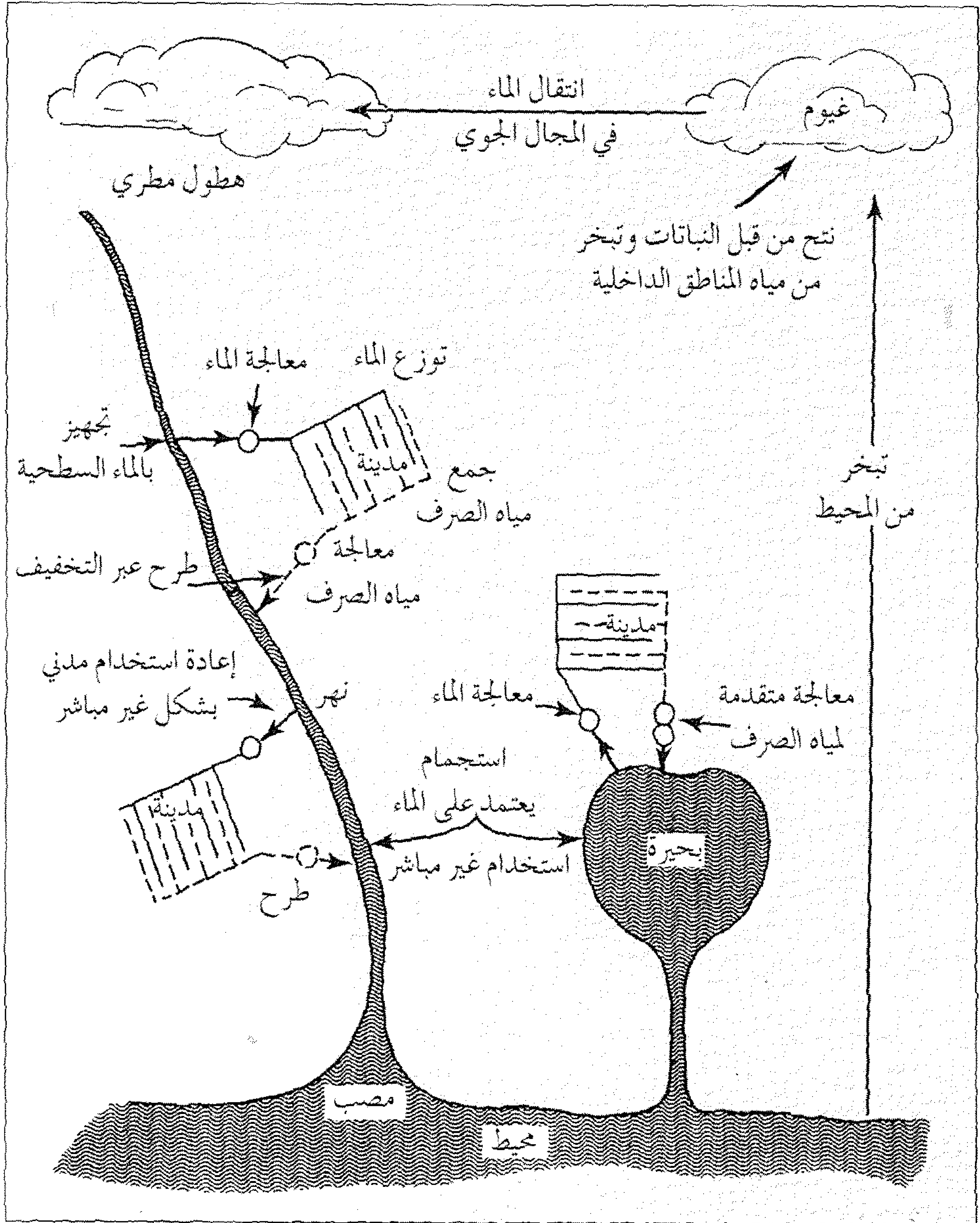
بطرحها. إن عملية سحب الماء وإعادتها عبر بلديات مدن متتابعة في حوض نهر ما، تتسبب بإعادة استخدام الماء بشكلٍ غير مباشر.

وفي الطقس الجاف، تعتمد المحافظة على استمرار جريان أدنى في كثير من الأنهار الصغيرة، على إعادة طرح مياه الصرف في أعاليها. وعلى ذلك، فإن دورة مائية صنعية ضمن نظام هيدرولوجي طبيعي، تتضمن: **أ)** سحب مياه سطحية ومعالجتها وتوزيعها، **ب)** جمع مياه الصرف ومعالجتها عبر التخفيف و طرحها مرة أخرى في الماء السطحية ، **ج)** تنقية طبيعية في الأنهار، **د)** تكرار هذه العملية في المدن الواقعة أسفل مجرى النهر.

إن طرح مياه الصرف المعالجة تقليدياً في البحيرات وفي الحوامل المائية وفي مصبات الأنهار والتي تلعب دور بحيرات، يسرِّع عمليات التغذية الجيدة. تتداخل المياه الناتجة ذات النوعية المتردية مع إعادة الاستخدام غير المباشر الذي يهدف إلى التجهيز العام بالماء وإلى تأمين احتياج النشاطات الاستجمامية التي تعتمد على الماء. ونتيجة لذلك فإن المعالجة المتقدمة لمياه الصرف سواء أكانت تتم في محطات ميكانيكية أو عبر تقنيات طرح في الأرض، قد أدرجت في الدورة المائية الصنعية متضمنةً أيضاً الحوامل المائية والبحيرات الداخلية.

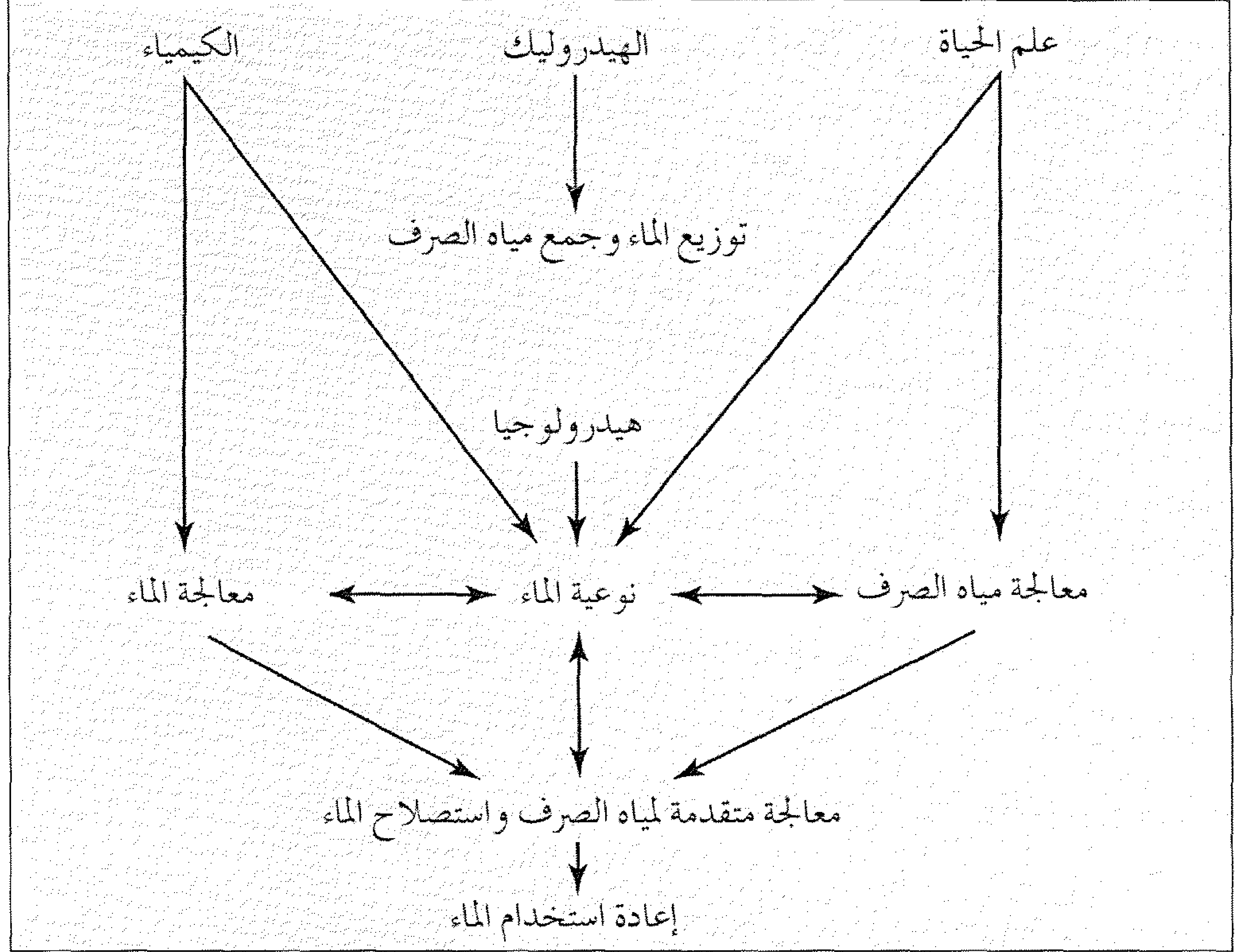
لقد شجع تركيب أنظمة معالجة متقدمة تُعيد مياه الصرف إلى نوعيتها الأولية تقريباً، مدناً كثيرة على النظر في إعادة استخدام الماء بشكل مباشر في المعالجة الصناعية، وبحيرات الاستجمام، والري وتغذية الماء الجوفية وفي استخدامات أخرى. غير أن إعادة هذه الماء مباشرة إلى التجهيز بمياه الشرب لا يلقى تشجيعاً، وذلك نتيجة المخاطر الصحية الكامنة المتأتية من الفيروسات والمواد السامّة التي يصعب كشفها وقد لا يمكن إزالتها عبر استصلاح الماء. إضافة إلى ذلك، هناك مشكلة أخرى تتمثل بازدياد كمية الأملاح المذابة والتي لا يمكن إزالتها إلا عبر عمليات إزالة تمعدن مكلفة. بيد أنه مع ازدياد الطلب على الماء العذبة، فإن إعادة

استخدام مياه الصرف من قبل بعض العواصم والمناطق المحيطة بها قد تغدو في المستقبل أمراً واقعاً.



شكل 1-1: تكامل الدورة المائية الطبيعية والدورة المائية الناتجة من تدخل الإنسان

إن العلوم القاعدية كالكيمياء وعلم الحياة والهيدروليك والهيدرولوجيا، هي الأساس لفهم التجهيز بالماء وضبط التلوّث. تجد المبادئ الكيميائية أوسع التطبيقات في مجال معالجة الماء، بينما تعتمد معالجة مياه الصرف على الأنظمة البيولوجية.



شكل 1-2: مخطط يربط بين ميادين العلوم الأساسيّة وحقول تقنيات الماء ومياه الصرف والتكامل بين النواحي المختلفة للتجهيز بالماء وضبط التلوّث

وتعتبر معرفة علم الهيدروليك مفتاح توزيع الماء وجمع مياه الصرف. ونوعية البيئة المائية هي مركز حلقة إعادة استخدام الماء بشكلٍ غير مباشر. وكما يظهر الشكل 1-2 فإن علوم الكيمياء، والهيدرولوجيا، والحياة، ومعالجة الماء، ومعالجة مياه الصرف تتقارب جميعاً، لتقدِّم فهماً متيناً لنوعية الماء. وأخيراً فإن تغذية الماء

الجوفية وإعادة استخدام الماء مرهونة ومشروطة بتقنية المعالجة المتقدمة لمياه الصرف واستصلاح الماء.

لقد تمت في هذا الكتاب مكاملة المبادئ الأساسيّة للعلوم مع نواحٍ مختلفة للتقنية الصحية. ويدرج الجدول 1-1 المطالعات المطلوبة والمتضمنة في هذا الكتاب لحقول مواضيع ومواد متنوعة. ويهدف هذا الجدول إلى مساعدة الطالب على مقارنة وربط معلومات من النص، حول موضوع محدد ذي اهتمام. فعلى سبيل المثال، قبل دراسة نوعية الماء في الفصل الخامس، يتوجب على الطالب استعراض أساسيات الكيمياء وعلم حياة العضويات المجهرية، والأمراض المنقولة بالماء وهيدرولوجيا الأنهار والبحيرات. فالمطالعات المطلوبة حول أنظمة توزيع الماء هي مختارات من الفصل الرابع. وقد يفضّل المدرِّس الذي يقوم بتحضير سلسلة محاضرات حول هذا الموضوع أن يستكمل مبادئ الهيدروليك بمادة وصفية من الفصل الذي يتناول توزيع الماء.

إن مزيَّة مثل هذا التكامل هو تمكين الطلاب من قراءة ما يتعلق بشبكات أنابيب حقيقية في أثناء حله لمسائل بسيطة حول الانسياب في الأنابيب. وفي أثناء تدريس معالجة الماء، قد يكون من المفيد للطالب أن يستعرض الأجزاء التي تتناول الكيمياء المدرجة في الجدول 1-1 قبل تنفيذه واجبات المطالعة المحددة في الفصل السابع.

ستتم مناقشة انسياب الماء الجوفية وخصائصه بشكل منفصل في الفصل التاسع، نظراً إلى أن المعلومات المتعلقة بذلك ضرورية لكل من أنظمة جمع مياه الصرف ومعالجتها. كما تتضمن القوائم المندرجة تحت أنظمة الجمع أيضاً الهيدروليك التطبيقي. تقوم المعالجة التقليدية لمياه صرف المدن على المعالجة الحيوية، وعلى ذلك فإن فهم الأنظمة الحية أمر لا غنى عنه. لا تهدف الفصول التي تتناول تشغيل الأنظمة إلى تقديم تغطية للموضوع بشكل شامل. ونظراً إلى أن هذا

الكتاب يتعامل بصورة رئيسة مع الأمور الفنية والتطبيقية، فقد تم تقديم كمٍّ كبير من المعلومات المتعلقة بالتشغيل عبر المواد الوصفية للكتاب.

تتضمن معالجة مياه الصرف كلّاً من عمليات الوحدة الحيوية والعمليات الكيميائية المتتالية والمشابهة لتلك المستعملة في معالجة الماء. وبالتالي فلإدراك المفاهيم الموصوفة في الفصل الثالث عشر، لابدّ للقارئ من أن يكون لديه معرفة كافية بكلٍّ من معالجة الماء ومياه الصرف. توظِّف إعادة استخدام الماء المستصلحة أحدث تقنيات المعالجة، كما تتطلب فهماً شاملاً لكلٍّ من عمليات المعالجة ونوعية الماء.

جدول 1-1: قائمة بالمطالعات اللازمة لميادين مواضيع مختلفة في الماء وتقنية مياه الصرف

نوعية الماء، الفصل 5		أنظمة جمع مياه الصرف، الفصل 10	
1-2	العناصر، الجذور والمركبات	1-4	ضغط الماء
9-2	المركبات العضوية	2-4	علاقات الضغط-السرعة-الضاغط
11-2	التحليل الكيميائية المخبرية	4-4	خصائص المضخات النابذة
1-3	البكتيريا والفطريات	5-4	خصائص النظام
2-3	الابتدائيات والحيوانات متعددة الخلايا	8-4	الانسياب التقالي في الأنابيب الدائرية
3-3	الفيروسات	10-4	قياس الانسياب في القنوات المفتوحة
4-3	الطحالب والأشنيات	11-4	كمية الجريان العصفي
5-3	أمراض منقولة بالماء	الفصل 9	انسيابات مياه الصرف وخصائصها
6-3	اختبار الفيروسات المعوية	معالجة مياه الصرف، الفصل 11	

7-3	اختبار الجياردیا والكريبتوسبوريديوم	9-2	المركبات العضوية
8-3	البكتيريا القولونية الدالة على العضويات	10-2	المركبات العضوية في مياه الصرف
12-4	الانسياب في الجداول والأنهار	1-3	البكتيريا والفطريات
13-4	هيدرولوجيا البحيرات والخزانات	2-3	الابتدائيات والحيوانات متعددة الخلايا
14-4	هيدرولوجيا المياه الجوفية	4-3	الطحالب والأشنيات
1-5	تشريع مياه الشرب الآمنة	10-3	احتياج الأكسجين الحيوي كيميائي
4-5	تشريع الماء النظيفة	11-3	أنظمة المعالجة الحيوية
5-5	النظام الوطني للتخلص من التصريف الملوث	12-3	الحركية الحيوية
أنظمة توزيع المياه، الفصل 6		1-4	ضغط الماء
1-4	ضغط الماء	2-4	علاقات الضغط-السرعة-الضاغط
2-4	علاقات الضغط-السرعة-الضاغط	10-4	قياس الانسياب في القنوات المفتوحة
3-4	الانسياب في الأنابيب تحت الضغط	الفصل 9	سريانات مياه الصرف وخصائصه
4-4	خصائص المضخات النابذة	تشغيل محطات الماء، الفصل 8	
5-4	خصائص النظام	الفصل 5	نوعية الماء
6-4	الأنابيب المكافئة	الفصل 6	أنظمة توزيع الماء
7-4	تحليل كمبيوتري لشبكة الأنابيب	الفصل 7	معالجة الماء
9-4	قياس الانسياب في الأنابيب	قدرة أنظمة مياه الصرف وإدارتها وتشغيلها وصيانتها، الفصل 12	
		الفصل 5	نوعية الماء
معالجة الماء، الفصل 7		الفصل 9	انسيابات مياه الصرف وخصائصها

1-2	العناصر، الجذور والمركبات	الفصل 10	أنظمة جمع مياه الصرف
2-2	التحليل الكيميائي للمياه	الفصل 11	معالجة مياه الصرف
3-2	تركيز أيون الهيدروجين ودرجة الحمضية pH (الأس الهيدروجيني)	معالجة متقدمة لمياه الصرف، الفصل 13	
4-2	التوازن الكيميائي	معالجة مياه الصرف إضافة إلى متطلبات المواضيع	
5-2	الحركية الكيميائية	معالجة الماء إضافة إلى متطلبات المواضيع	
6-2	ذوبانية الغاز	إعادة استخدام الماء، الفصل 14	
7-2	القلوية	نوعية الماء إضافة إلى متطلبات المواضيع	
8-2	الغرويات والتخثر	معالجة مياه الصرف إضافة إلى متطلبات المواضيع	
11-2	التحاليل الكيميائية المخبرية	معالجة الماء إضافة إلى متطلبات المواضيع	
1-4	ضغط الماء	معالجة متقدمة لمياه الصرف	
2-4	علاقات الضغط-السرعة-الضاغط		
9-4	قياس الانسياب في الأنابيب		

الفصل 2

الكيميــــاء

يقدم هذا الفصل معلومات أساسية حول الكيمياء تتعلق بتقنية الماء ومياه الصرف. لقد جمعت بيانات مختارة وعُرضت كمقدمة للفصول التي تتناول نوعية الماء، والتلوّث وعمليات المعالجة الكيميائية. فعلى سبيل المثال، تمت جدولة خصائص العناصر والجذور والمركبات اللاعضوية الشائعة. ووصفت الطرق المألوفة لعرض التحاليل الكيميائية للمياه، نظراً إلى كونها لا تعرض عادة في كتب الكيمياء العامة. وستركز مقاطع حول التفاعلات الكيميائية والقلوية والتخثر، على نواحٍ محددة للكيمياء التطبيقية للمياه. ونظراً إلى كون الكيمياء العضوية غير مدرجة عادة في المناهج التمهيدية، ولكون المتدربين في مجال التجهيز بالماء وضبط التلوّث لم يتعرضوا عادة لهذا الحقل من حقول الكيمياء، فقد تم تقديم مقدمة لتسميات المركبات العضوية ووصف موجز للمادة العضوية في مياه الصرف. وأخيراً تمت مناقشة أهمية التقنية والتجهيزات المستخدمة في تحاليل مخبرية مختارة. ويمكن فهم متحولات نوعية الماء وخصائصها على نحو أفضل في حال كون إجراءات الاختبار معروفة.

2-1 العناصر والجذور والمركبات

يشار إلى الوحدات الكيميائية الأولية التي تشكل كافة المواد، بالعناصر. يختلف كل عنصر عن أي عنصر آخر بالوزن والحجم والخواص الكيميائية. ويُظهر

الجدول رقم 2-1 أسماء العناصر الشائعة في تقنية الماء ومياه الصرف، ورموزها وأوزانها الذرية وتكافؤاتها الشائعة وأوزانها المكافئة. وتستخدم الرموز في كتابة الصيغ والمعادلات.

الوزن الذري هو وزن عنصر ما بالنسبة إلى وزن الهيدروجين والذي له الوزن الذري لوحدة القياس. وهذا الوزن الذي يعبَّر عنه بالغرام يدعى غرام واحد وزن ذري للعنصر. فمثلاً غرام واحد وزن ذري للألمنيوم (Al) هو 27.0 غرام. والوزن المكافئ الملحق برمز العنصر مساوٍ لناتج قسمة الوزن الذري على التكافؤ.

تَظهر بعض العناصر في الطبيعة كغازات مثل الهيدروجين والأكسجين والنتروجين، بينما تظهر بعض العناصر كسائل مثل الزئبق، في حين تكون عناصر أخرى مواداً صلبة، فمثلاً يوجد الكربون والكبريت والفوسفور والكالسيوم والنحاس والتوتياء وعناصر أخرى كثيرة ضمن اتحادات كيميائية مع بعضها بعضاً في شكل مركبات. تتحد ذرات عنصر ما مع ذرات عنصر آخر بنسبة معينة يحددها التكافؤ. والتكافؤ هو قوة اتحاد عنصر ما قياساً على قوة اتحاد ذرة الهيدروجين والذي له قيمة محددة تساوي 1. وعلى ذلك فإن عنصراً ذا تكافؤ قدره $^{2+}$ يمكن أن يحل محل ذرتَي هيدروجين. الصوديوم له تكافؤ قدره $^{1+}$.

جدول 2-1: معلومات أساسيّة عن العناصر الشائعة

الاسم	الرمز	الوزن الذري	التكافؤ الشائع	الوزن(*)
ألمنيوم	Al	27	3+	9.0
زرنيخ	As	74.9	3+	25.0
باريوم	Ba	137.3	2+	68.7
بورون	B	10.8	3+	3.6
بروم	Br	79.9	1-	79.9
كادميوم	Cd	112.4	2+	56.2
كالسيوم	Ca	40.1	2+	20.0

	4-	12	C	كربون
35.5	1-	35.5	Cl	كلور
17.3	3+	52	Cr	كروم
	6+			
31.8	2+	63.5	Cu	نحاس
19.0	1-	19	F	فلور
1.0	1+	1	H	هيدروجين
126.9	1-	126.9	I	يود
27.9	2+	55.8	Fe	حديد
	3+			
103.6	2+	207.2	Pb	رصاص
12.2	2+	24.3	Mg	مغنيزيوم
27.5	2+	54.9	Mn	منغنيز
	4+			
100.3	2+	200.6	Hg	زئبق
29.4	2+	58.7	Ni	نيكل
	3-	14	N	نتروجين
	5+			
8.0	2-	16	O	أكسجين
6.0	5+	31	P	فوسفور
39.1	1+	39.1	K	بوتاسيوم
13.1	6+	79	Se	سيلينيوم
6.5	4+	28.1	Si	سليكون
107.9	1+	107.9	Ag	فضة
23.0	1+	23	Ni	صوديوم
16.0	2-	32.1	S	كبريت
32.7	2+	65.4	Zn	خارصين أو – زنك (توتياء)

(*) الوزن المكافئ (الوزن الملحق) يساوي ناتج قسمة الوزن الذري على التكافؤ.

والكلور له تكافؤ $^{1-}$ وبالتالي يمكن لذرة صوديوم أن تتحد مع ذرة كلور لتشكل الملح الشائع كلوريد الصوديوم (NaCl). ويمكن للنتروجين الذي يتمتع بتكافؤ قدره $^{-3}$ أن يتحد مع ثلاث ذرات هيدروجين ليشكل غاز الأمونيا (NH_3). ووزن المركب مساوٍ لمجموع أوزان العناصر المتحدة ويشار إليه بالوزن الجزيئي أو ببساطة "مول". فالوزن الجزيئي لكلوريد الصوديوم يبلغ 58.4 g ومول واحد من الأمونيا يساوي 18.0 g.

تتصرف تجمعات محددة من الذرات مع بعضها البعض كوحدةٍ ضمن عددٍ كبيرٍ من جزيئات مختلفة. ويشار إلى هذه التجمعات بالجذور، وقد أعطيت أسماء خاصة لها مثل مجموعة الهيدروكسيل (OH^-). يظهر الجدول 2-2 أكثر الجذور شيوعاً بصيغتها المتأينة. والجذور بحد ذاتها ليست بمركبات، ولكنها ترتبط مع عناصر أخرى لتشكل مركبات. يظهر الجدول 2-3 بيانات عن مركبات لاعضوية شائعة في كيمياء الماء ومياه الصرف الصحي. حيث تم إدراج الاسم الصحيح والصيغة الكيميائية والوزن الجزيئي. والأسماء الشائعة مثل الشبّة كناية عن كبريتات الألمنيوم، قد تم إدراجها بين قوسين. كما تم إدراج استخدام شائع للمواد الكيميائية المستخدمة في معالجة الماء، ورغم أن كثير منها له تطبيقات أخرى، غير أنه ارتؤي عدم تضمينها. إضافة إلى ذلك، أدرجت الأوزان المكافئة للمركبات والمركبات الافتراضية، فمثلاً أدرج أيضاً $Ca(HCO_3)$ الذي يستخدم في معالجة الماء.

مثال 2-1

احسب الوزن الجزيئي والوزن المكافئ لكبريتات الحديديك.

الحل: إن الصيغ الجزيئية للمركب الواردة في الجدول 2-3 هي $Fe_2(SO_4)_3$

وباستخدام بيانات الوزن الذري من الجدول 2-1

Fe	$2 \times 55.8 = 111.6$
S	$3 \times 23.1 = 96.3$
O	$12 \times 16 = 192.0$

الوزن الجزيئي = 399.9 g أو 400 g

إن ذرة الحديديك (أكسيد الحديد) ذات تكافؤ قدره +3 ولذلك فإن مركباً ذا ذرتي حديد له شحنة كهربائية إجمالية قدرها +6. (وثلاث جذور كبريتات لها شحنة كهربائية إجمالية قدرها 6−).

$$\text{الوزن المكافئ} = \frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{الشحنة الكهربائية}}$$

$$= \frac{400}{6}$$

$$\text{الوزن المكافئ} = 66.7\ g$$

2-2 التحليل الكيميائي للمياه

تتفكك المركبات اللاعضوية بوضعها في الماء إلى ذرات مشحونة كهربائياً وإلى جذور يشار إليها بالأيونات. ويدعى هذا التفكك للمواد إلى مكوناتها الأيونية، "التأين". يُمثّل الأيون بالرمز الكيميائي للعنصر أو للجذر متبوعاً بإشارة علوية + أو − دلالة على عدد الشحنات على الأيون. لاحظ الصوديوم، Na^{+} والكلور، Cl^{-} والألمنيوم، Al^{+++} والأمونيوم، NH_4^{+} والكبريتات، $SO_4^{=}$.

تحدد التحاليل المخبرية للمياه كتلك الموجزة في الفقرة 2-11، تراكيز أيونات محددة في المحلول. ويعبَّر عادة عن نتائج التحليل بوزن العنصر أو الجذر بالميليغرامات في لتر من الماء ويرمز لها بـــ (mg/1). وتستخدم بعض الكتب مصطلح عدد الأجزاء بالمليون (ppm)، وهو مطابق في الأغراض التطبيقية لـــ (mg/l)، وذلك نظراً إلى أن لتراً واحداً من الماء يزن 1000000 mg. وبكلمات أخرى فإن (mg/l) يساوي 1 mg في 1000000 mg مياه، هو الواقع مساو لـــ 1 جزء وزناً في 1000000 جزء وزناً من الماء أي (1 ppm). ويمكن أيضاً أن يُعبَّر

عن تركيز مادة في محلول بميليمكافئ (Milliequivalent) في اللتر (meq/1)، ممثلاً بذلك الوزن الملحق للأيون أو الجذر أو المركب.

يمكن حساب (meq/l) من عدد الـــ (mg/l):

$$meq/l = mg/l \times \frac{\text{التكافؤ}}{\text{الوزن الذري}} = \frac{mg/l}{\text{الوزن المكافئ}} \qquad \textbf{(2-1)}$$

وفي حال وجود جذر أو مركب فتصبح المعادلة:

$$meq/l = mg/l \times \frac{\text{الشحنة الكهربائية}}{\text{الوزن الجزيئي}} = \frac{mg/l}{\text{الوزن المكافئ}} \qquad \textbf{(2-2)}$$

يُظهر الجدولان 2-2 و2-3 على التوالي الأوزان المكافئة لعناصر وجذور ومركبات لاعضوية مختارة.

ويظهر الجدول 2-4 تحليلاً كيميائياً نموذجياً. ويمكن مقارنة هذه البيانات بالخصائص الكيميائية المحددة لمعايير مياه الشرب وذلك لتقدير المعالجة المطلوبة قبل استخدامها منزلياً أو صناعياً.

جدول 2-2: الجذور الشائعة المصادفة في الماء

الاسم	الصيغة	الوزن الجزيئي	الشحنة لكهربائية	الوزن المكافئ
أمونيوم	NH_4^-	18.0	1+	18.0
هيدروكسيل	OH^-	17.0	1-	17.0
بيكربونات	HCO_3^-	61.0	1-	61.0
أورثوفوسفات	$PO_4^=$	95.0	3-	31.7

أورثوفوسفات، أحادي	$HPO_4^{=}$	96.0	2-	48.0
أورثوفوسفات، ثنائي	$H_2PO_4^-$	97.0	1-	97.0
كبريتات الهيدروجين	HSO_4^-	97.0	1-	97.0
كبريتات	$SO_4^{=}$	96.0	2-	48.0
كبريتوز الهيدروجين	HSO_3^-	81.0	1-	81.0
كبريتوز	$SO_3^{=}$	80.0	2-	40.0
نتروز	NO_2^-	46.0	1-	46.0
نترات	NO_3^-	62.0	1-	62.0
فوق أكسيد الكلور (هيبوكلورايت)	OCl^-	51.5	1-	51.5

جدول 2-3: معلومات أساسيّة عن المواد الكيميائية اللاعضوية الشائعة

الاسم	الصيغة	الاستخدام الشائع	الوزن الجزيئي	الوزن المكافئ
كربون منشط	C	ضبط النكهة والرائحة	12.0	N.A.(*)
كبريتات الألمنيوم	$Al_2(SO_4).14.3\ H_2O$	تخثر	600	100
ماءات هيدروكسيد الألمنيوم	$Al(OH)_3$	(اتحاد افتراضي)	78.0	26.0
أمونيا	NH_3	تعقيم كلورة	17.0	N.A.
فلوروسيليكات الأمونيوم	$(NH_4)_2SiF_6$	فلورة	178	N.A.
كبريتات الأمونيوم	$(NH_4)_2SO_4$	تخثر	132	66.1

81.0	162	(اتحاد افتراضي)	$Ca(HCO_3)_2$	بيكربونات الكالسيوم
50.0	100	ضبط التآكل	$CaCO_3$	كربونات الكالسيوم
N.A.	78.1	فلورة	CaF_2	فلوريد الكالسيوم
37.0	74.1	إزالة العسرة	$Ca(OH)_2$	ماءات هيدروكسيد الكالسيوم
N.A.	179	تعقيم	$Ca(OCl)_2\ 2H_2O$	هيبوكلوريت الكالسيوم
28.0	56.1	إزالة العسرة	CaO	أكسيد الكالسيوم (الجير)
22.0	44.0	إعادة الكربنة	CO_2	ثاني أكسيد الكربون
N.A.	71.0	تعقيم	Cl_2	كلور
N.A.	67.0	ضبط النكهة والرائحة	ClO_2	ثاني أكسيد الكلور
79.8	160	ضبط الطحالب	$CuSO_4$	كبريتات النحاس
54.1	162	تخثر	$FeCl_3$	كلوريد الحديديك
35.6	107	(اتحاد افتراضي)	$Fe(OH)_3$	ماءات هيدروكسيد الحديديك
66.7	400	تخثر	$Fe_2(SO_4)_3$	كبريتات الحديديك
139	278	تخثر	$FeSO_4.7H_2O$	كبريتات الحديدوز المائية
N.A.	144	فلورة	H_2SiF_6	حمض فلوروسيليسيك
36.5	36.5	N.A.	HCl	حمض كلور الماء (هيدروكلوريك)
29.2	58.3	إزالة الفلورة	$Mg(OH)_2$	ماءات هيدروكسيد المغنزيوم
16.0	32.0	تهوية	O	أكسجين
N.A.	48.0	تعقيم	O_3	أوزون
N.A.	158	أكسدة	$KMnO_4$	برمنغنات البوتاسيوم

ألومينات الصوديوم	$NaAlO_2$	تخثر	82.0	N.A.
بيكربونات الصوديوم (صودا الخبز)	$NaHCO_3$	تعديل درجة الحمضية	84.0	84.0
كربونات الصوديوم (رماد الصودا)	Na_2CO_3	إزالة العسرة	106	53.0
كلوريد الصوديوم (الملح الشائع)	NaCl	إعادة توليد التبادل الأيوني	58.4	58.4
فلوريد الصوديوم	NaF	فلورة	42.0	N.A.
هكساميتافوسفات الصوديوم	$(NaPO_3)_n$	ضبط التآكل	N.A.	N.A.
ماءات هيدروكسيد الصوديوم	NaOH	تعديل درجة الحمضية	40.0	40.0
بيكربونات الصوديوم	$NaHCO_3$	تعقيم	74.4	N.A.
سيليكات الصوديوم	Na_4SiO_4	مساعد على التخثر	184	N.A.
فلوروسيليكات الصوديوم	Na_2SiF_6	فلورة	188	N.A.
ثيوكبريتات الصوديوم	$Na_2S_2O_3$	إزالة الكلورة	158	N.A.
ثاني أكسيد الكبريت	SO_2	إزالة الكلورة	64.1	N.A.
حمض الكبريتيك	H_2SO_4	تعديل درجة الحمضية	98.1	49.0
ماء	H_2O	N.A.	18.01	N.A.

(*) N.A. غير قابلة للتطبيق.

جدول 2-4: تحليل كيميائي لمياه سطحية

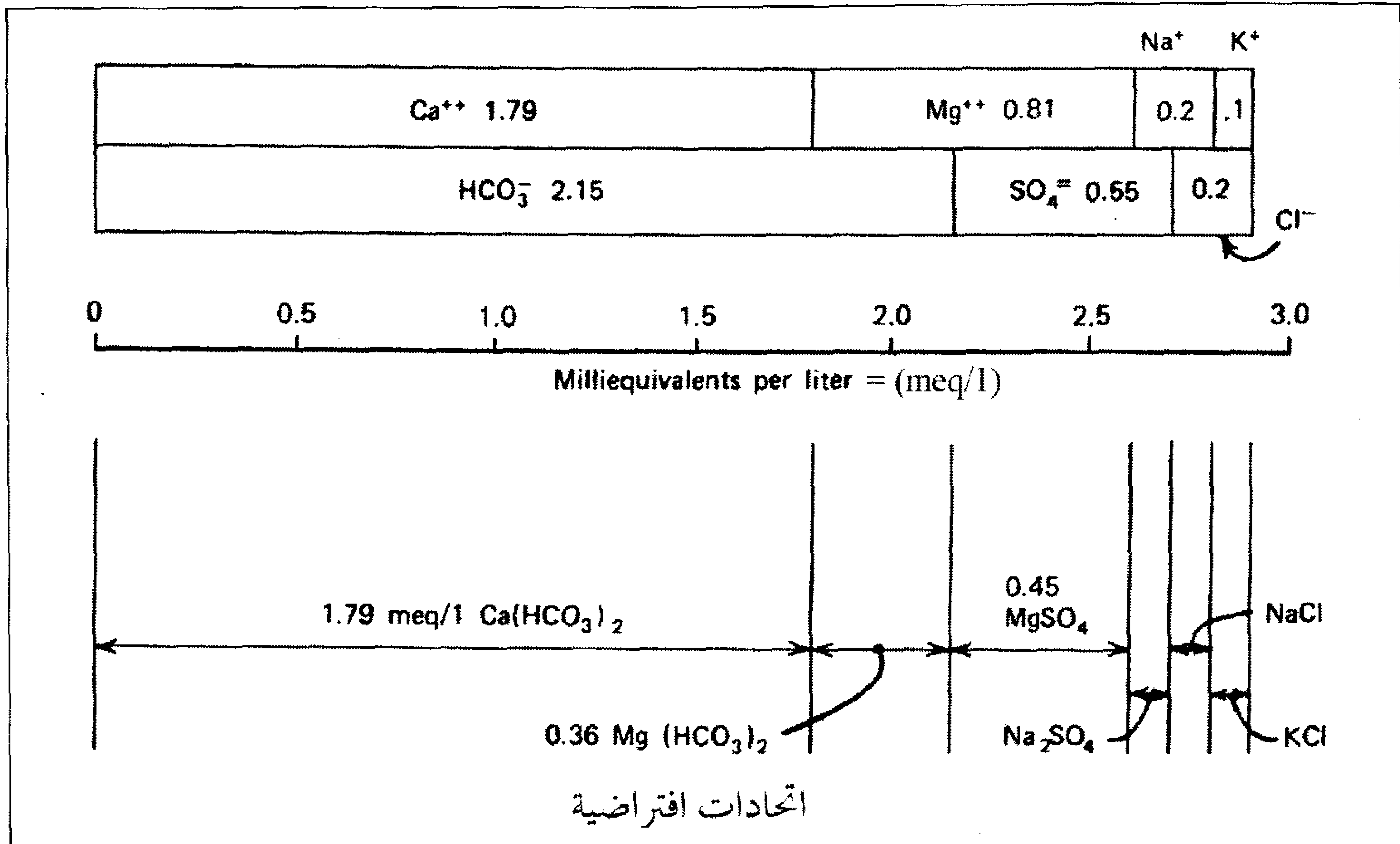
العامل	ml/l	meq/l	العامل	ml/l	meq/l
القلوية	108		مغنزيوم	9.9	0.81
الزرنيخ	0		نترات	2.2	

باريوم	0		درجة الحمضية (بواحدات pH)	7.6	
بيكربونات	131	2.15	فوسفور (لاعضوي بالكامل)	0.5	
كادميوم	0	1.79	بوتاسيوم	3.9	0.10
كالسيوم	35.8		سيلينيوم	0	
كلور	7.1	20.0	فضة	0	
كروم	0		صوديوم	4.6	0.20
نحاس	0.10		سلفات	26.4	0.55
فلور	0.2		المواد الصلبة المُذابة الكلية	220	
الحديد زائد منغنيز	0.13		عكورة (بالـ NTU(*))	5	
حديد	0.10		ميثان ثلاثي الهالوجين	0	
رصاص	0		وحدات لون بمقياس التلون	5	

(*) وحدات عكورة بمقياس التكدر (Nephlometer).

لا يعتبر تقديم النتائج بصيغة (mg/l) على شكل جداول مناسباً لتجسيد التركيب الكيميائي لماء ما. ولذلك فإنه يعبر عن النتائج غالباً بالميليمكافئ باللتر (meq/l) ما يسمح بعرضها بيانياً والتحقق بسرعة من دقة تحاليل الأيونات الرئيسة. ويجب أن يتساوى مجموع الميليمكافئات باللتر للكاتيونات (جذور موجبة) مع مجموع الميليمكافئات باللتر للأنيونات (جذور سالبة). وفي حسابات مثالية يجب أن يكونا متساويين تماماً، وذلك نظراً إلى أن الماء الموجود في حالة التوازن، يكون متوازن كهربائياً. ويتم إظهار نتائج تحليل الماء باستخدام ميليمكافئات باللتر عبر رسم قيمها وفق مقياس مخطط بياني، كأن يعطى 1 (meq/l) قيمة 1 in. إن مخطط الأعمدة في الشكل 2-1 مستند إلى بيانات الماء الواردة في الجدول 2-4، حيث يتكون الصف العلوي من الكاتيونات الرئيسة مرتبة

بالتسلسل: كالسيوم، مغنزيوم، صوديوم، وبوتاسيوم. بينما رتب الصف السفلي بسلسلة متعاقبة من البيكربونات، والكبريتات، والكلور.



شكل 2-1: مخطط أعمدة (meq/l) لتحليل مياه معطىً بالجدول 2-4

يمكن أن تنشأ الاتحادات الافتراضية للأيونات الموجبة والسالبة من مخطط أعمدة كما في الشكل 2-1. وهذه المركبات مفيدة خاصةً في اعتبارات إزالة عسرة الماء. فمن الشكل 2-1 يتضح أن عسرة الكربونات $[Ca(HCO_3)_2]$ تساوي 2.15 (meq/l) والعسرة اللاكربوناتية $[Mg(SO_4)]$ تساوي 0.45 (meq/l).

مثال 2-2

أعطى تحليل مياه النتائج الآتية: كالسيوم 29.0 (mg/l)، مغنزيوم 16.4 (mg/l)، صوديوم 23.0 (mg/l)، بوتاسيوم 17.5 (mg/l)، بيكربونات 171 (mg/l)، كبريتات 36.0 (mg/l)، وكلوريد 24.0 (mg/l). حوّل التراكيز من

(mg/l) إلى meq/l، ضع قائمة بالاتحادات الافتراضية، واحسب عسرة الماء مقدرة بالـ (mg/l) لـ $CaCO_3$.

الحل

باستخدام المعادلة 2-1

المكون	(mg/l)	وزن مكافئ	(meq/l)
Ca^{++}	29.0	20.0	1.45
Mg^{++}	16.4	12.2	1.34
Na^{+}	23.0	23.0	1.00
K^{+}	17.5	39.1	0.45
الكاتيونات الكلية			4.24
HCO_3^-	171	61.0	2.81
$SO_4^{=}$	36.0	48.0	0.75
Cl^-	24.0	35.5	0.68
الأنيونات الكلية			4.24

الاتحادات الافتراضية

$Ca(HCO_3)_2$، 1.45 meq/l، $Mg(HCO_3)_2$، 1.34، $NaHCO_3$، 0.02، Na_2SO_4، 0.75، NaCl، 0.23 ، و KCl، 0.45 meq/l

العسرة $(Mg^{++} + Ca^{++})$ = 2.79 meq/l.

الوزن المكافئ لـ $Ca\,CO_3$ = 50.0 (جدول 2-3)

وبواسطة المعادلة 2-2

العسرة = 2.79 × 50 = 140 meq/l

العسرة = 1.40 meq/l /$Ca\,CO_3$

3-2 تركيز أيون الهيدروجين ودرجة الحمضية pH

يتفكك الماء (H_2O) بدرجة طفيفة فقط، معطياً تركيزاً لأيون الهيدروجين مساوٍ لـــ 10^{-7} (mol/L). ونظراً إلى أن الماء يعطي أيون هيدروكسيل واحد (أساسي) لكل أيون هيدروجين (حمضي)، يعتبر الماء حيادياً.

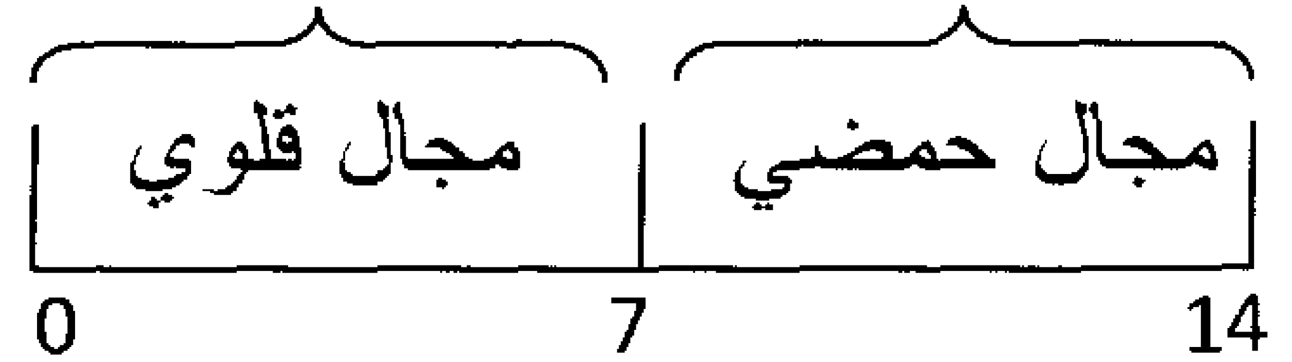


$$H_2O \leftrightarrows H^+ + OH \qquad (3-2)$$

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} \qquad (4-2)$$

وحيث أن لوغاريتم الـــ 1 مقسوماً على 10^{-7} يساوي 7، فإن درجة الحمضية pH في حالة التعادل (التوازن) تساوي 7.

وعندما يضاف حمض إلى الماء فإن تركيز أيون الهيدروجين سيزداد متسبباً بالتالي بانخفاض رقم درجة الحمضية pH. وعلى العكس فإنه عندما تضاف مادة قلوية فإن أيونات OH^- ستتحد مع أيونات H^+ غير المرتبطة وسينخفض تركيز أيون الهيدروجين ما يتسبب بارتفاع رقم درجة الحمضية pH. يتراوح مقياس pH بين 0 و14. يكون حمضي بين 0 و7، ويغدو قلوياً بين 7 و14.



4-2 التوازن الكيميائي

إن معظم التفاعلات الكيميائية عكوسة بدرجةٍ ما تبعاً للحالة النهائية للتوازن التي تحدد تراكيز المواد المتفاعلة ونواتجه. فبالنسبة إلى التفاعل العام المعبر عنه بالمعادلة 5-2، فإن أيّ زيادة في التركيز في أي من A أو B يحول اتجاه التفاعل نحو اليمين، بينما زيادة تركيز C أوD سيوجه التفاعل نحو اليسار. ويمكن التعبير عن تفاعل كيميائي في توازن حقيقي بعلاقة كتلة – فعل (mass–action) في المعادلة 6-2.



$$aA + bB \leftrightarrows cC + dD \qquad (5\text{-}2)$$

$$K = \frac{[C]^c \ [D]^d}{[A]^a \ [B]^b} \qquad (6\text{-}2)$$

حيث أن A و B المواد الداخلة في التفاعل.

C و D هي نواتج التفاعل

[ ] التراكيز المولارية (molar concentrations)

K ثابت التوازن

التوازنات المتجانسة

في توازن كيميائي متجانس تكون كل المواد المتفاعلة والناتجة عنه في الحالة الفيزيائية نفسها، كأن يكونوا جميعاً في محلول. تصل الأحماض اللاعضوية والأسس إلى تأيُّن بنسبة 100 بالمئة في المحاليل المخففة. بينما تتأيّن الأحماض اللاعضوية والقواعد الضعيفة بنسبة ضعيفة. ويعبر عن درجة تأين المركبات ضعيفة التأين بعلاقة كتلة – فعل (mass–action). فالمعادلات من 2-7 إلى 2-10 تحدد خصائص توازن حمض الكربونيك.



$$H_2CO_3 \leftrightarrows H^+ + HCO_3^- \qquad (7\text{-}2)$$

$$\frac{[H^+]\ [CO_3^=]}{[H_2CO_3^=]} = K_1 = 4.45 \times 10^{-7} \quad 25^{\circ}C \text{ في درجة حرارة} \qquad (8\text{-}2)$$



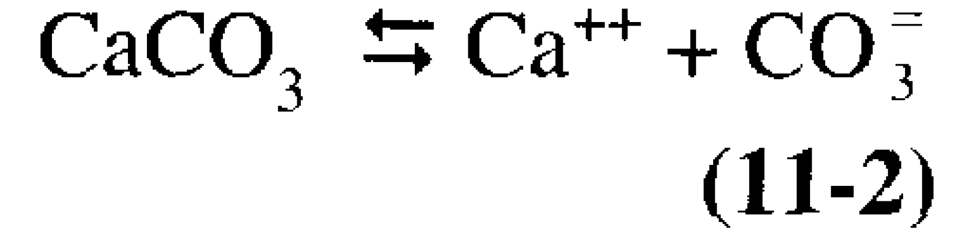
$$HCO_3^- \leftrightarrows H^+ + CO_3^= \qquad (9\text{-}2)$$

$$\frac{[H^+]\ [CO_3^=]}{[H_2CO_3^=]} = K = 4.69 \times 10^{-7} \quad 25^{\circ}C \text{ في درجة حرارة} \qquad (10\text{-}2)$$

يُناقش الجزء 2-7 توزان البيكربونات – الكربونات بالنسبة إلى قلوية الماء في ما يناقش الجزء 9 تأين الأحماض العضوية.

التوازنات اللامتجانسة

تشير هذه التوازنات إلى توازنات موجودة بين مواد كيميائية في حالتين فيزيائيتين أو أكثر. فمثلاً لدى قيم pH أعلى من 10 فإن كربونات الكالسيوم الصلبة في الماء ستصل إلى الاستقرار بوجود أيونات الكالسيوم والكربونات في المحلول.



$$CaCO_3 \leftrightarrows Ca^{++} + CO_3^{=}$$

(11-2)

يمكن أن يعبر عن هذا النوع من التوازن بين بلورات من مادة في حالة صلبة وأيوناتها في المحلول رياضياً، كتوازن متجانس كالآتي:

$$K = \frac{[Ca^{++}]\,[CO_3^{=}]}{[CaCO_3]} \qquad \textbf{(12-2)}$$

ويمكن اعتبار تركيز المادة الصلبة كثابت K_S، في توازن (كتلة – فعل). وبالتالي فإنه يمكن الافتراض أن $[CaCO_3]$ يساوي $K\,K_S$ وذلك وفقاً لما أصبحت عليه المعادلة 2–12

$$[Ca^{++}]\,[CO_3^{=}] = K\,K_S = K_{sp} = 5.0 \times 10^{-9} \quad 25^{\circ}C$$ عند درجة حرارة **(13-2)**

حيث K_{sp} = ثابت الذوبان – ناتج التفاعل

ويكون المحلول غير مشبع إذا كان ناتج التراكيز الأيونية المولارية أقل من ثابت الذوبان – ناتج التفاعل. وعلى العكس يكون المحلول فوق مشبع إذا كان ناتج التراكيز المولارية أكبر من ثابت الذوبان – ناتج التفاعل. وفي هذه الحالة تتشكل البلورات وبتتابع الترسيب تتناقص التركيزات الأيونية لتتساوى مع تركيزات المحلول المشبع. واستناداً إلى قيمة K_{sp} المعطاة بالمعادلة (13-2) فإن الذوبان النظرية لـــ $CaCO_3$ في الماء النقي لدى درجة حرارة 25°C تبلغ 0.000071 mol/Lأو 7.1 mg/l.

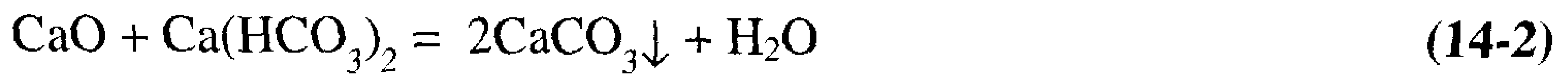
تغيير اتجاهات التوازنات الكيميائية

تستخدم التفاعلات الكيميائية في معالجة الماء ومياه الصرف لتغيير اتجاه التوازنات الكيميائية وذلك بهدف إخراج مواد من المحلول. إن أكثر الطرق شيوعاً لإنهاء التفاعلات هي تشكيل رواسب غير ذوّابة، ومركبات وغازات ضعيفة التأين يمكن نزعها من المحلول.

تفاعلات الترسيب

إن تشكيل رواسب غير ذوّابة، لمواد غير مرغوبة عبر إضافة مواد كيميائية للمعالجة هي أكثر الطرق شيوعاً لتغيير اتجاه التوازن الكيميائي. والمثال على ذلك استخدام المخثرات (Coagulants) ككبريتات الألمنيوم لإزالة العكورة، واستخدام الجير لإزالة أيونات العسرة متعددة التكافؤ. وبعد تشكل الرواسب بالتفاعلات الكيميائية، تُزال هذه الرواسب عادة من المعلق باستخدام الترسيب بواسطة الثقالية متبوعاً بترشيح الماء عبر أوساط حُبيبية.

إن المثال الموضح لتفاعل ترسيب هو إزالة عسرة الماء. إن الماء الحاوية على تراكيز عالية من الكالسيوم (مياه عسرة)، تميل إلى ترسيب قشور على الجدار الداخلي للأنابيب، في تركيبات الماء المستخدمة. وفي عمليات إزالة العسرة عبر الترسيب، يتم إزالة الكالسيوم من المحاليل وذلك من خلال زيادة pH الماء بإضافة الجير (CaO). ويتسبب ذلك بتغيير اتجاه التوازن في المعادلة 2-14 نحو اليمين. (يشير السهم المتجه نحو الأسفل على الطرف الأيمن للمعادلة إلى أن $CaCO_3$ راسب صلب.



$$CaO + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3\downarrow + H_2O \qquad \textbf{(14-2)}$$

إن معادلة كيميائية كتلك في 2-14 تقدم صيغ المواد المتفاعلة وتلك الخارجة منه وعدد مولات كل منها. وتعتبر متوازنة إذا تساوى عدد ذرات كل عنصر على الطرف الأيسر للمعادلة مع عدد ذرات كل عنصر على الطرف الأيمن. وباستخدام معادلة التوازن يمكن استخدام العلاقات الجزيئية لحساب كميات المواد المتفاعلة

وتلك الخارجة منه. وتسمى عملية استخدام معادلة التوازن الكيميائي للقيام بالحسابات (علم اتحادية العناصر أو الكيمياء الرياضية (Stoichiometry). وفي بعض التفاعلات، يمكن استخدام الأوزان المكافئة لتقدير كميات المواد المتفاعلة وتلك الخارجة منه (يمكن الرجوع إلى المعادلات 2-3 و2-4).

تفاعلات الأكسدة والاختزال

يتضمن الكثير من التفاعلات الكيميائية إضافة أكسجين و/ أو تغيير تكافؤ أحد المواد المتفاعلة. والأكسدة هي إضافة أكسجين أو نزع إلكترونات، بينما الاختزال هو نزع أكسجين أو إضافة إلكترونات. إن تفاعل الأكسدة التقليدي هو صدأ الحديد بإضافة الأكسجين.



$$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3 \qquad \textbf{(15-2)}$$

لقد تم أكسدة الحديد من Fe إلى Fe^{+++} بينما اختُزل الأكسجين من O إلى $O^{=}$.

إن تفاعل أكسدة – اختزال في معالجة الماء هو إزالة أيونات الحديدوز [Fe^{2+}] المُذاب من المحلول عبر الأكسدة باستخدام برمنغنات البوتاسيوم. وفي معادلة التفاعل 2-16 هذه، يكتسب الحديد شحنة واحدة موجبة بينما يرجع البوتاسيوم في البرمنغنات من تكافؤ 7^+ إلى تكافؤ 4^+ في ثاني أكسيد المنغنيز. (لاحظ أن السهم قد استخدم بدلاً من إشارة المساواة في المعادلة 2–16 نظراً إلى أن المعادلة غير متوازنة).

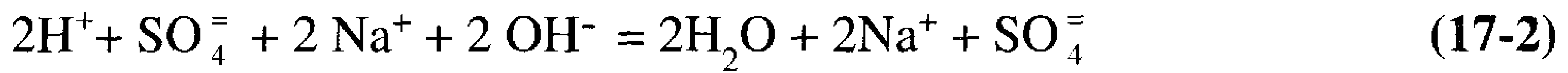


$$3Fe^{2+} + Mn^{(7+)}O_4^- \rightarrow 3Fe^{(3+)}O_x \downarrow + Mn^{(4+)}O_2 \downarrow \qquad \textbf{(16-2)}$$

تُزال رواسب أكاسيد الحديد وثاني أكسيد المنغنيز من المحلول عبر الترسيب وترشيح الماء.

تفاعلات حمض - قاعدة (التعادل)

يتحلل الحمض الذي يضاف إلى الماء إلى أيونات هيدروجين وأنيونات جذور منتجاً بالتالي محلولاً حمضياً. فعلى سبيل المثال، حمض الكبريتيك H_2SO_4 يتحلل إلى أيونات $SO_4^{=}$ و H^+ في المحلول. ويتكشل محلول قاعدي بإضافة مادة قلوية كـ NaOH إلى الماء. فإذ أضيف حمض وقاعدة إلى المحلول نفسه فإن أيونات H^+ ستتحد مع OH^- ليتشكل الماء، وإذا أضيفت كميات متكافئة منهما فإنهما سيحيدان بعضهما بعضاً مشكلان محلولاً ملحياً كما هو الحال في المثال الآتي



$$2H^+ + SO_4^{=} + 2\,Na^+ + 2\,OH^- = 2H_2O + 2Na^+ + SO_4^{=} \qquad \textbf{(17-2)}$$

تفاعلات منتجة للغاز

إن العمليات الكيميائية المتضمنة نواتج غازية تقترب من نهايتها عندما يهرب الغاز من المحلول. ومثال ذلك نزع الأمونيا بهدف إزالة النتروجين من الصرف الصحي. إن رفع الـ pH إلى ما فوق 10.8 بإضافة الجير سيحول نتروجين الأمونيا في المحلول من NH_4^+ إلى غاز NH_3.



$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O \qquad \textbf{(18-2)}$$

وبإدخال مياه الصرف إلى برج التيار المعاكس، حيث يدخل تيار الهواء من أسفل البرج ويطرح من أعلاه في ما تنضح مياه الصرف إلى الأسفل عبر حشوة البرج وخلال ذلك يُفصَل غاز الأمونيا من المحلول ويطرح مع الهواء.

مثال 2-3

تظهر المعادلة 2-14 التفاعل الكيميائي لإزالة عسرة الماء بالترسيب بإضافة الجير. ما هي جرعة الجير ذي نسبة نقاء قدرها 78%، مطلوبٌ إضافتها لتتحد مع 70 mg/l من الكالسيوم؟

الحل

يحتوي 1 مول من $Ca(HCO_3)_2$ (162 g) على 40.1 g من الكالسيوم، لذا فإن 70 mg/l من الكالسيوم تكافئ

$$70\ mg/l\ Ca^{++}\ \frac{162\ g/mol\ Ca\ (HCO_3)_2}{40.1\ mol\ Ca^{++}} = 283\ mg/l\ \ Ca(HCO_3)_2$$

سيتحد 56.1 g من CaO مع 162 g من $Ca(HCO_3)_2$، لذلك فإن 283 mg/l من $Ca(HCO_3)_2$ ستتفاعل مع

$\frac{56.1}{162} \times 283 = 98.0$ mg/l من CaO

وفي درجة نقاء قدرها 78% ستحتاج جرعة من الجير التجاري مقدارها

$$\frac{98.0\ \ CaO}{0.78}\ \ 126\ mg/l = 1050\ \ lb/mil\ gal$$

مثال 2-4

كم باونداً من هيدروكسيد الصوديوم النقي يجب إضافتها لتحييد صرف صناعي ذي حموضة مكافئة لـــ 50 lb من حمض الكبريتيك لكل مليون غالون من مياه الصرف؟

الحل

باستخدام المعادلة 2-17 فإن 2 مول من NaOH تحيّد مولاً واحداً من H_2SO_4، لذا فإن 2 × 40 باوند من NaOH ستتفاعل مع 1 × 98.1 باوند من H_2SO_4.

فإن باونداً واحداً من NaOH يحتاج

$$\frac{80\ lb\ \ NaOH}{98.1\ lb\ \ H_2SO_4} \times 50\ lb\ H_2SO_4$$

أي: 40.8 lb NaOH /mil gal

حل بديل

في تفاعلات التحييد فإن مكافئ واحد من قاعدة ما سيتفاعل مع مكافئ حمض واحد. ولذلك فإنه بترجيح استخدام الأوزان المكافئة (جدول 2-3) على استخدام قيم الأوزان الجزيئية تصبح الحسابات كالآتي:

$$\frac{40\ lb\ \ NaOH}{49\ lb\ \ H_2SO_4} \times 50\ lb\ H_2SO_4$$

أي: $40.8\ lb\ \ NaOH\ /mil\ gal$

مثال 2-5

كم mg/l من الحديد المختزل يمكن لها أن تُؤكسد (نظرياً) بواسطة 1 mg/l من برمنغنات البوتاسيوم؟

الحل

من المعادلة 2-16 ، فإن $3Fe^{++}$ $(3 \times 55.8 = 167)$ ستتأكسد مقابل كل MnO_4^-، (وزن $KMnO_4$ يساوي 158).

$$\frac{158\ \ KMnO_4}{157\ \ Fe} = \frac{1\ mg\ /L}{x\ mg\ /L} \Rightarrow x\ \ = 1.06\ mg/l$$

2-5 الحركية الكيميائية

تحدد الحركية الكيميائية (Chemical Kinetics) معدل التفاعل. والحركية المناقشة في هذا الفصل لا تنطبق على التفاعلات غير العكوسة التي تحدث في طور واحد مع توزع متماثل للمواد المتفاعلة في كامل السائل. وفي التفاعلات غير العكوسة يقود اتحاد المواد المتفاعلة إلى تحويلها بالكامل تقريباً إلى نواتج تفاعل،

وينطبق ذلك على معظم العمليات الجارية في الماء وفي مياه الصرف. ومن ثم فإن هذا الافتراض صالح لأغراض تفسير بيانات حركية العمليات. فلأنماط التفاعلات المناقشة في هذا الفصل، تحدد حركية تفاعل المرتبة الأولى (first-order reaction) غالباً التفاعلات التي تحدث في العمليات الكيميائية والبيولوجية الجارية ضمن الماء ومياه الصرف.

تسبق هذه التفاعلات تفاعلات المرتبة الصفرية (zero-order reaction) بمعدلٍ مستقلٍ عن تراكيز أي من المواد المتفاعلة أو الناتجة من التفاعل، لذلك فإن اختفاء أو ظهور نواتج التفاعل، تكونان عمليتين خطيتين. ادرس التحول التالي لمادة واحدة من المواد المتفاعلة إلى مادة متفاعلة واحدة إلى مادة ناتجة واحدة.


A (مادة داخلة في التفاعل) → P(مادة ناتجة عن التفاعل) **(19-2)** بتبعية

باستخدام C للتعبير عن تركيز A في أي زمن t فإن اختفاء A الزمن هو:

$$\frac{dC}{dt} = kC^0 = -k \qquad \textbf{(20-2)}$$

حيث $\frac{dC}{dt}$ jsh,d تغير معدل تركيز A عبر الزمن

$k =$ ثابت معدل التفاعل (reaction-rate) باليوم

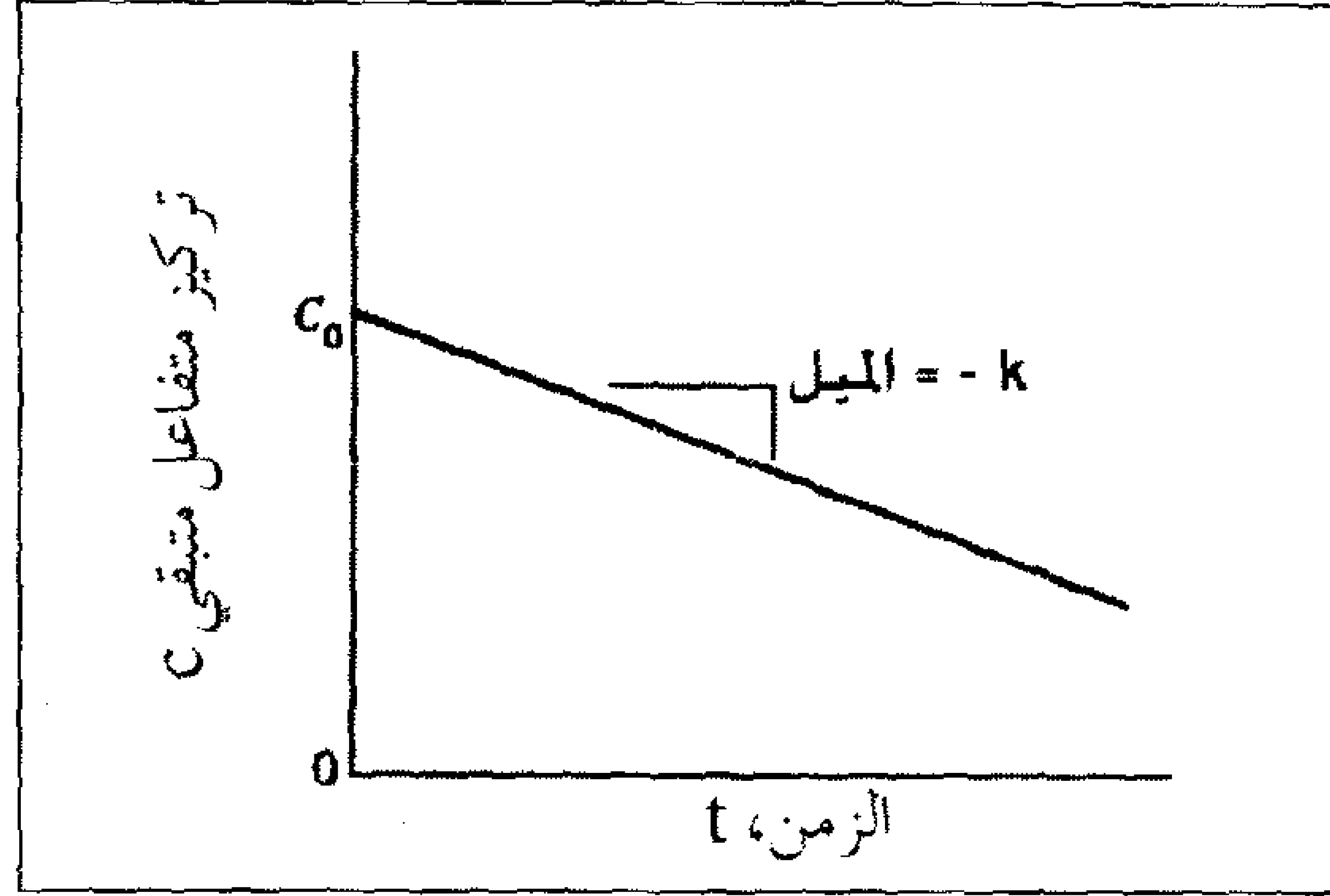
وبمكاملة المعادلة (20-2) وإعادة ترتيب أطرافها نحصل على

$$C = C_0 - kt \qquad \textbf{(21-2)}$$

حيث أن C = تركيز A في أي زمن t، (mg/l)

و C_0 = التركيز الأولي لـ A، (mg/l)

يظهر مخطط تفاعل الترتيب الصفري الممثل بالمعادلة 2-21 بشكل خط مستقيم في الشكل 2-2. يعني الميل السالب $-k$ أن تركيز A يتناقص مع الزمن.



شكل 2-2: مخطط بياني لتركيز متفاعل متبقي في تفاعل حركي من المرتبة الصفرية، المعادلة 2-21

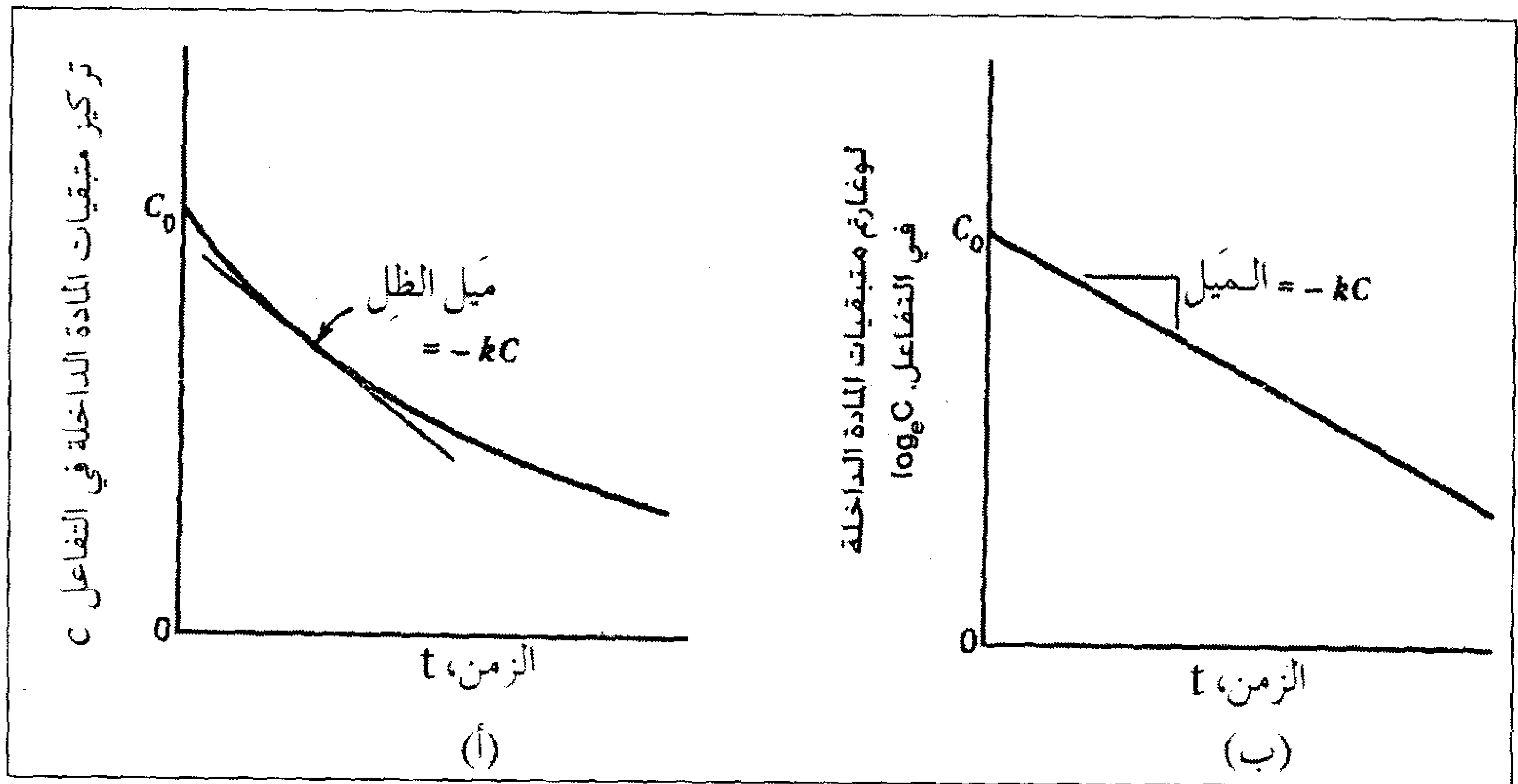
تستمر تفاعلات المرتبة الأولى (first-order reaction) بمعدل يتناسب طردياً مع تركيز المتفاعل الوحيد. وإذا أخذنا بالاعتبار أن المتفاعل تحوّل إلى ناتج تفاعل (A→P) فإن التغير في التركيز C بالنسبة إلى الزمن سيكون:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^1 = -kC \qquad \textbf{(22-2)}$$

وبمكاملة المعادلة 2-22 وجعل C تساوي C_0 عندما يساوي t صفراً نحصل على:

$$\log_e \frac{C}{C_o} = -kt \quad \text{أو} \quad C = C_o e^{-kt} \qquad \textbf{(23-2)}$$

إن رسم تفاعل المرتبة الأولى الممثّل بالمعادلة 2-23 على ورق حسابي سيكون منحنٍ كما في (الشكل 2-3 أ). وميل المماس في أيّ نقطة على طول المنحني يساوي $-kC$. وبالتالي فإنه بمرور الوقت منذ بدء التفاعل فإن معدل التفاعل يتناقص بتناقص تركيز A المتبقي. ويمكن جعل تفاعل المرتبة الأولى طردياً برسم البيانات على ورق نصف لوغاريتمي كما في (الشكل 2-3 ب).



شكل 2-3: مخطط على ورق حسابي وورق نصف لوغاريتمي لتراكيز متبقيات المواد المتفاعلة في تفاعل حركي من المرتبة الأولى، معادلة 2-23

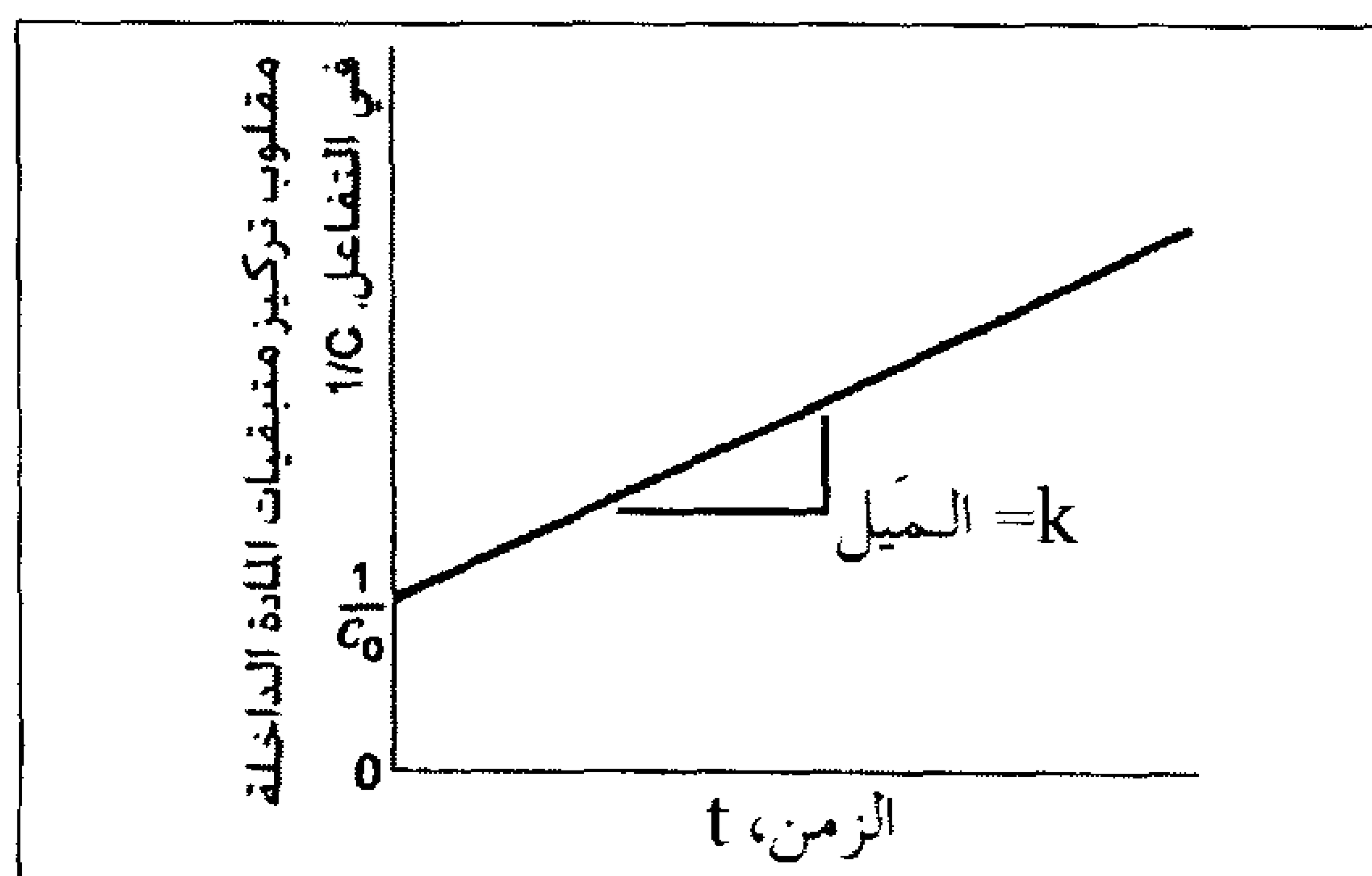
تستمر تفاعلات المرتبة الثانية بمعدل يتناسب طردياً مع مربع تركيز المتفاعل الوحيد المتحول إلى المنتج الوحيد ($2A \rightarrow P$). وسيكون معدل التفاعل:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^2 \qquad \textbf{(24-2)}$$

وتكامل المعادلة 2-24 هو

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt \qquad \textbf{(25-2)}$$

إن رسم تفاعل المرتبة الثانية، والممثل بالمعادلة 2-25 علـى ورق حـسابي موضح في الشكل 2-4. إن رسم مقلوب قيم تركيز متبقي المتفاعل مقابـل الـزمن يظهر كخطٍ مستقيم ذي ميل يساوي k.



شكل 2-4: مخطط لمقلوب قيم تركيز متبقيات مادة متفاعلة في تفاعل حركي مع الزمن من المرتبة الثانية، معادلة 2-25

تأثير الحرارة في معدل التفاعل

يزداد معدل التفاعلات الكيميائية بازدياد الحرارة شريطة أن لا تؤثر الحرارة المرتفعة في المركبات المتفاعلة أو في الحفّازات. إن العلاقة الأساسيّة بين درجة الحرارة وثابت معدل التفاعل بالنسبة إلى التفاعلات الكيميائية قد صيغت من قبل أرهينيوس عام 1889. وعندما تُعدّل معادلته الأصلية وتُبسّط[1] فإن التعبير الشائع لارتباط الحرارة بمعدل التفاعل يصبح

$$k_2 = k_1 \Theta^{T2-T1} \quad \textbf{(26-2)}$$

حيث k = ثابت معدل التفاعل عند درجة حرارة محددة T في اليوم.

Θ = معامل الحرارة (Temperature coefficient)، بلا وحدة.

T = درجة الحرارة، $^{\circ}C$

تسمح المعادلة بضبط قيمة معدل التفاعل مقابل تغير في درجة الحرارة، تم تقديره وفقاً لقيمة تقديرية تجريبية أو افتراضية لمعامل درجة الحرارة.

إن معامل درجة الحرارة يكون نسبياً ثابتاً ضمن مجال درجات حرارة ضيق يرافق عادة سير عمليات الماء ومياه الصرف. إن الاستخدام الحكيم للمعامل Θ يحد من تطبيقاته إلى مجال حراري ضيق ($\pm 5^{\circ}C$) من درجة الحرارة التجريبية التي استخدمت لتحديد قيمته. إن القيمة الشائع استخدامها في كل من العمليات الحيوية

والكيميائية هي 1.072 والتي تضاعف أو تنصّف قيمة معدل التفاعل مقابل تغير في درجة الحرارة قدره $10^{\circ}C$. تضاعف أو تنصّف قيمة معدل k مقابل تغير في درجة الحرارة قدره $15^{\circ}C$.

مثال 2-6

إن للتفاعل الكيميائي الذي يجري وفق المرتبة الأولى معدل تفاعل مُقاس قدره 50 في اليوم لدى درجة حرارة قدرها $20^{\circ}C$. احسب معدل k لمادة متفاعلة في درجة حرارة $18^{\circ}C$ مستخدماً معامل درجة حرارة قدره 1.072 وذلك لخفض التركيز من 100 mg/l إلى 10 mg/l

الحل

من المعادلة 2-26 نجد أن معدل التفاعل لدى درجة حرارة $18\ ^{\circ}C$ يساوي

$$k_2 = 50\ (1.072)^{18-20} = 43.5/d$$

وباستخدام المعادلة 2-23

$$\log_e \frac{10}{100} = -\ 43.5\ t$$

$$t = 0.053\ \text{day} = 1.27\ \text{hr}$$

2-6 ذوبانية الغاز

تذوب معظم الغازات قليلاً في الماء أو تتفاعل كيميائياً معه، باستثناء غاز الميثان (CH_4) الذي يشار إليه عادة بغاز الإنارة والذي لا يتفاعل مع الماء بمقدارٍ يمكن قياسه ينتج الميثان عن التحلل اللاهوائي لحمأة الصرف ويمكن جمعه وحرقه لقيمته الحرارية. أمّا الغازان الرئيسان في الغلاف الجوي، النتروجين والأكسجين فيما لم يتفاعلا كيميائياً مع الماء فإنهما يذوبان فيه بمقدارٍ محدود. وتتناسب ذوبانية كل منهما مباشرة مع الضغط الذي يمارسه كل منهما على الماء. وتحت ضغط محدد، تتباين ذوبانية الأكسجين بشكل كبير باختلاف درجة الحرارة وبدرجة أقل مع الملوحة (تركيز الكلور). ويظهر الجدول 2-5 قيم إشباع الأكسجين المذاب وفقاً

لغلاف جوي عادي مكون من 21 % أكسجين مقابل درجات حرارة وتراكيز كلوريد مختلفة. وتشرح الحاشية أسفل الجدول كيفية تصحيح قيم ذوبانية الأكسجين بتغير الضغط البارومتري. ويعتمد تغير الضغط البارومتري نتيجة تغير الارتفاع على تغير معدل تناقص كثافة الهواء. فعند سطح الأرض تكون الدقة كافية لإجراء كافة الحسابات الهندسية، ما يمكّن من القول بأن الضغط يتناقص بمقدار 25 mm (1 in.) زئبق لكل 1000 قدم زيادة في الارتفاع.

يمكن أن تتشكل الغازات في المحاليل نتيجة تحلل المواد العضوية في الماء. تظهر الأمونيا والمتحررة حيويكيميائياً من المواد النتروجينية على شكل جذر أمونيوم إذا كان الوسط حمضي، أما إذا كان قاعدياً فإنها تبقى بشكل غاز الأمونيا. وفي الفحص المخبري بنتروجين الأمونيا، تزداد قيمة pH العينة بزيادة لصوديوم هيدروكسيد حيث يتم استخلاص الأمونيا بالتقطير. وهناك غاز آخر يتحرر من مياه الصرف الصحي هو كبريت كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، والذي يُعرف برائحته التي تشبه رائحة البيض الفاسد. تنتج مجموعة SH^- بيوكيميائياً في المحلول وتتحول إلى H_2S تحت شروط مرجعة وتتحرر من المحلول على هيئة غاز، وفي المجارير يمكن أن يؤدي ذلك إلى تآكل مقدمة الأنابيب عبر أكسدة H_2S إلى حمض الكبريتيك (H_2SO_4) ضمن نطاق رطوبة التكثيف التي تنحدر على الجانب الداخلي للأنبوب. يتفاعل الكلور، وهو أكثر العوامل المؤكسدة استخداماً في الولايات المتحدة لتعقيم التجهيز بالماء المنزلي، مع الماء وفق المعادلة 2-27. يشحن الكلور السائل إلى محطات المعالج في أسطوانات فولاذية مضغوطة. ومع تحرر الضغط يتحول السائل إلى غاز يدخل إلى الماء. وفي محلول مخفف ولدى سويات pH أعلى من 4، يتحد الكلور مع جزئيات الماء مشكلاً حمض الهيدروكلوريك وحمض الكلوروز والذي ينتج بدوره أيون الهيبوكلوريت. ترتبط درجة التأين بقيمة الـ pH حيث يتشكل HOCl لدى قيم أقل من 6 ويصبح التأين تاماً عند تجاوز قيمة 9. إن قيمة pH الماء خلال التعقيم هامة، نظراً إلى أن HOCl أكثر فاعلية من OCl^- في قتل الكائنات الضارة.

جدول 2-5: قيم إشباع الأكسجين المُذاب في الماء والمعرض لهواء مشبع بالماء يحوي 90.20 % من الأكسجين تحت ضغط جوي قدره 760 mm زئبق[*]

ضغط البخار (mm)	درجة الحرارة °C	أكسجين مذاب DO (mg/l)				درجة الحرارة °C
		الفرق لكل 100 mg كلوريد	تركيز الكلور بالماء mg/l			
			10000	5000	0	
5	0	0.017	13	13.8	14.6	0
5	1	0.016	12.6	13.4	14.2	1
5	2	0.015	12.3	13.1	13.8	2
6	3	0.014	12	12.7	13.5	3
6	4	0.014	11.7	12.4	13.1	4
7	5	0.014	11.4	12.1	12.8	5
7	6	0.014	11.1	11.8	12.5	6
8	7	0.013	10.9	11.5	12.2	7
8	8	0.013	10.6	11.2	11.9	8
9	9	0.012	10.4	11	11.6	9
9	10	0.012	10.1	10.7	11.3	10
10	11	0.011	9.9	10.5	11.1	11
11	12	0.011	9.7	10.3	10.8	12
11	13	0.011	9.5	10.1	10.6	13
12	14	0.010	9.3	9.9	10.4	14
13	15	0.010	9.1	9.7	10.2	15
14	16	0.010	9	9.5	10	16
15	17	0.010	8.8	9.3	9.7	17
16	18	0.009	8.6	9.1	9.5	18
17	19	0.009	8.5	8.9	9.4	19
18	20	0.009	8.3	8.7	9.2	20
19	21	0.009	8.1	8.6	9	21
20	22	0.008	8	8.4	8.8	22
21	23	0.008	7.9	8.3	8.7	23
22	24	0.008	7.7	8.1	8.5	24
24	25	0.008	7.6	8	8.4	25
25	26	0.008	7.4	7.8	8.2	26
27	27	0.008	7.3	7.7	8.1	27

28	28	0.008	7.1	7.5	7.9	28
30	29	0.008	7	7.4	7.8	29
32	30	0.008	6.9	7.3	7.6	30

(*) الإشباع لدى ضغوط جوية غير 760 mm (29.92 in.). ترتبط C'_s مع القيم ذات الصلة في الجدول C_s بالعلاقة

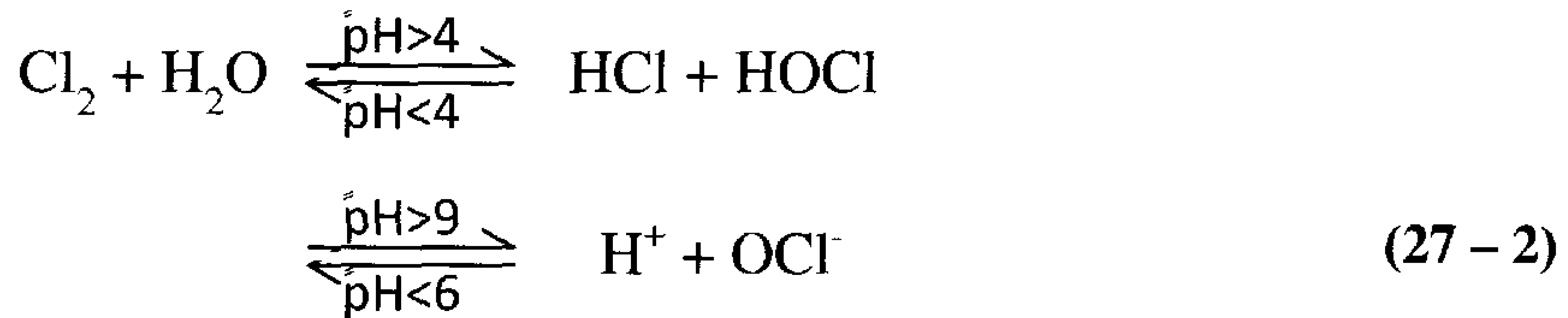
$$C'_s = C_s \frac{P - p}{760 - p}$$

حيث: C'_s = الذوبان تحت الضغط الجوي p ودرجة حرارة محددة، مقدرة بـ mg/l.

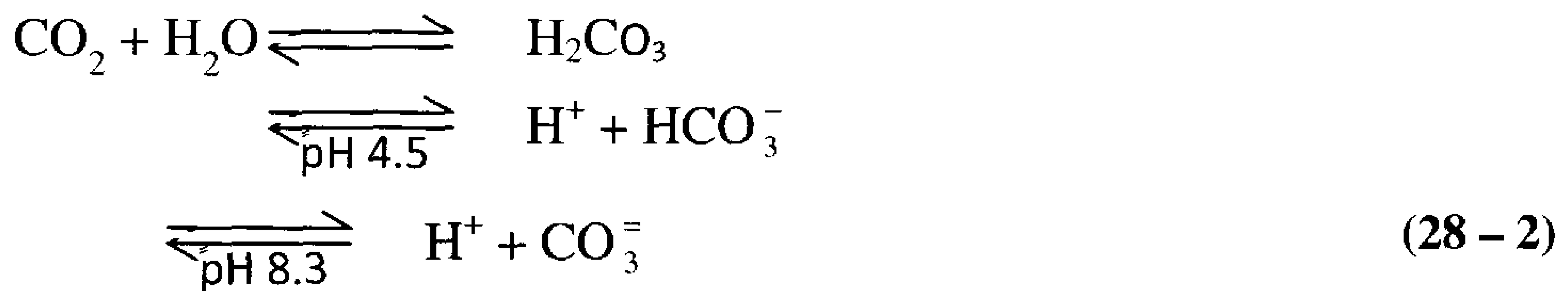
C_S = الإشباع تحت درجة حرارة من الجدول، مقدراً بـ mg/l.

P = ضغط جوي، mm.

p = ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الماء المختارة من الجدول بـ mm.



وبالرغم من أن ثاني أكسيد الكربون يشكل ما نسبته 0.03% من هواء الغلاف الجوي إلا أنه يلعب دوراً رئيساً في كيمياء الماء، نظراً إلى تفاعله بسهولة مع الماء مشكلاً جذور كربونات وبيكربونات. يتم امتصاص CO_2 من الهواء أو يتم تحريره عبر تحلل بكتيري للمادة العضوية في الماء. وعندما يصبح في الماء يتفاعل معه ليشكل حمض الكربونيك.



وعندما يصبح pH أعلى من 5.4، يتأين حمض الكربونيك ليشكل البيكربونات والتي بدورها تتحول إلى جذر كربونات إذا تجاوز pH قيمة 3.8 تقريباً. إن ثاني أكسيد الكربون عدواني جداً ويتسبب بتآكل أنابيب الماء، لذا فإن تجهيز الماء بقيم pH

منخفضة يتم تحييدها عادة بمادة قاعدية للتقليل من تآكل الأنابيب. ومن جانب آخر فإن الماء القلوي ذو $CO_3^=$ ماء عسر ويشكل قشوراً نتيجة ترسب $CaCO_3$. ويمكن اعتبار إجراءات معالجة الماء لتخفيض قيمة pH وإزالة العسرة إجراءً مناسباً ومفيداً.

مثال 2-7

ما هو تركيز الأكسجين المُذاب في الماء لدى درجة حرارة $18^{\circ}C$ وتركيز كلور قدره 800 mg/l وتحت ضغط جوي قدره 660 mm (على ارتفاع 4000 قدم)؟

الحل

من الجدول 2-5 نجد أن تركيز الكلور في حالة االإشباع بـــ 800 mg/l لـــدى درجة حرارة $18^{\circ}C$ يساوي

$$9.5 - 8 \times 0.009 = 9.4 \text{ mg/l}$$

وبتصحيح الضغط الجوي لـــ 660 mm مم باستخدام المعادلة في كعب الجدول 2-5،

$$C_s' = 9.4 \, \frac{660 - 16}{760 - 16} = 8.1 \text{ mg/l}$$

2-7 القلوية

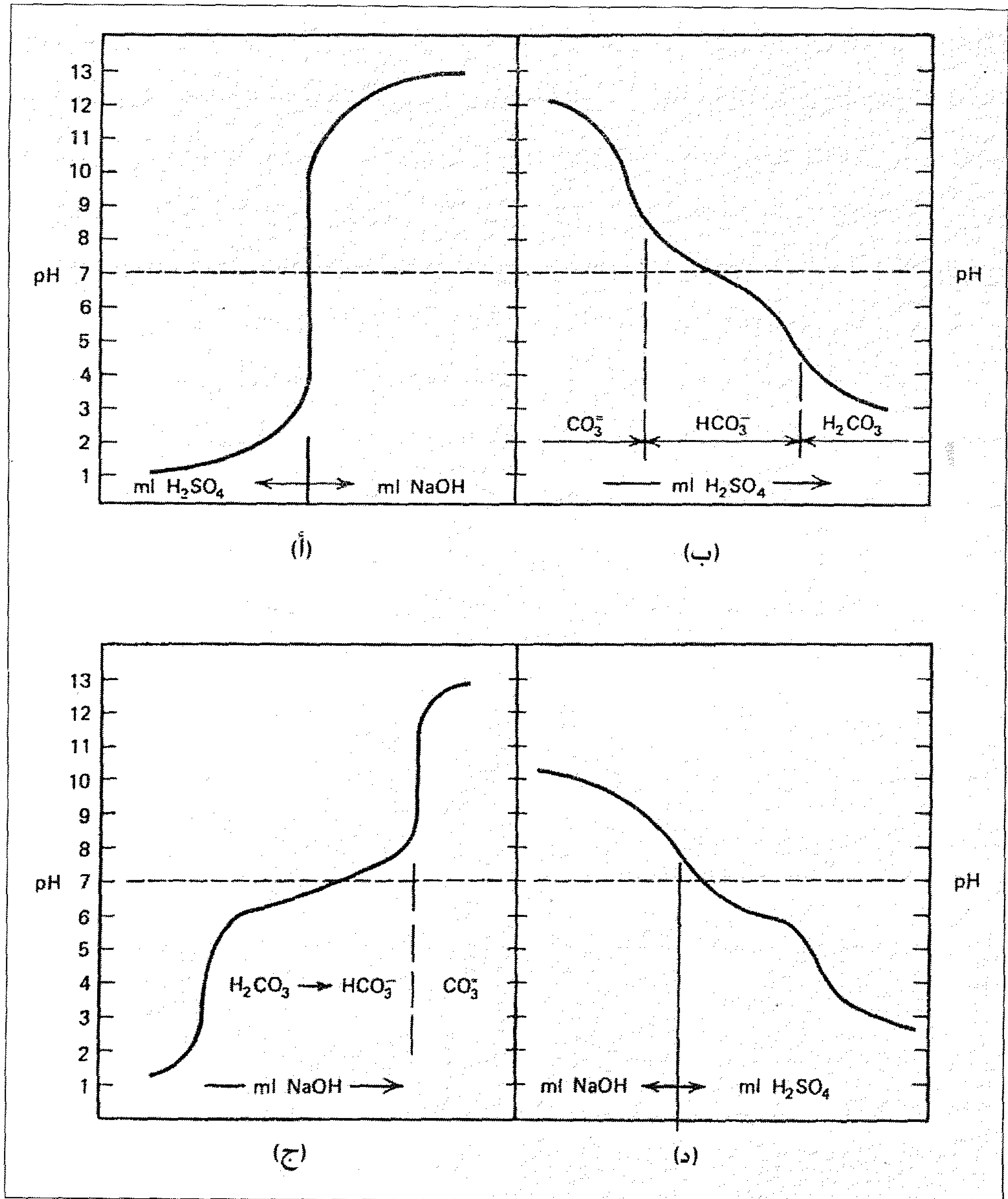
يمكن تحليل طبيعة البيكربونات – الكربونات للمياه بإضافة حمض قوي ببطء إلى عينة ماء وقراءة تغيرات pH الناتجة. تستخدم هذه العملية التى تدعى معايرة قياس قلوية الماء. أما القلوية فتقاس بالمعايرة بمحلول أساسي قوي. إذا تمت معايرة عينتيْ ماء نقي (pH 7) بحمض الكبريتيك وهيدروكسيد الصوديوم على التوالي فسيكون منحني المعايرة كما موضح في (الشكل 2–5أ). إن أيّ إضافات أولية قليلة جداً من المادة المعايرة ستتسبب بتغييرات ملحوظة في قراءات pH. المنحني ب هو منحني المعايرة لماء يحتوي على تركيزٍ أولي عالٍ من أيونات الكربونات تم إعداده من إضافة كربونات الصوديوم إلى ماء مقطر.

وعند إضافة حمض إليه فإن أغلبية أيونات الهيدروجين تتحد مع أيونات الكربونات لتشكل البيكربونات (معادلة 2-28). ويقوم فائض أيون الهيدروجين بخفض الـــ pH تدريجياً، إلى أن تبلغ قيمته 8.3 عندها تتحول كافة جذور الكربونات إلى بيكربونات. وأيّ أيونات هيدروجين إضافية سترجع البيكربونات إلى حمض الكربونيك تحت رقم حموضة أقل من 4.5.

وسيتسبب تحريك العينة في أثناء ذلك بتحرير غاز ثاني أكسيد الكربون المتشكل من الكربونات الأولية. والشكل (2-5 ج) هو المعايرة المعكوسة للمنحني ب، حيث تتسبب إضافة قاعدة قوية بتحويل حمض الكربونيك إلى بيكربونات والتي تتحول بدورها إلى كربونات وفقاً للمعادلة 2-28 بالاتجاه من اليسار إلى اليمين.

إن المواد الموجودة في المحلول كالصيغ الأيوينة المتعددة لثاني أكسيد الكربون والتي تبدي مقاومة لتغير الـــ pH لدى إضافة أحماض أو قواعد والتي يشار إليها بمحلول منظم Buffers.

إن فهم تفاعل التهدئة في كيمياء الماء ومياه الصرف أمر أساسي، نظراً إلى أن الكثير من التفاعلات الكيميائية التي تتم في أثناء معالجة الماء والتفاعلات البيولوجية عبر معالجة مياه الصرف تابعة لـــ pH وتعتمد على ضبط قيمته. إن المنحني د منحني معايرة نموذجي لمياه بئر عسرة نسبياً ذي قيمة pH أولية قدرها 7.8. إن انعطافات المنحني لدى قيم pH 4.5 و8.3 يشير إلى أن المحلول المنظم الأساسي هو نظام كربونات – بيكربونات. ويلاحظ تكرر عدم انتظام المنحني أو تكرّر الابتعاد عن الشكل المثالي لمنحني محلول منظم البيكربونات، (الشكل 2–5 ب)، الملاحظ خلال المعايرة الفعلية للمياه ومياه الصرف والتي تسببها محاليل منظمة أو وجود مركبات تكون عادة تراكيزها قليلة كالفوسفات ($H_2PO_4^-$. $HPO_4^=$, $PO_4^=$)



شكل 2-5: منحنيات المعايرة للماء النقي (أحماض وقواعد قوية)، كربونات (ملح حمض ضعيف)، حمض كربونيك (حمض ضعيف)، وماء بئر نموذجي، (أ) ماء نقي، (ب) كربونات في الماء، (ج) حمض كربونيك، (د) ماء بئر

إن قلوية الماء مقياس لاستطاعته على تحييد الأحماض، وبكلمات أخرى استطاعته على امتصاص أيونات الهيدروجين بدون إحداث تغييرات ذات شأن في قيمة الـ pH. يتم قياس القلوية عبر معايرة عينة ما بحمض الكبريتيك (0.02)

نظامي. (النظامية طريقة للتعبير عن قوة محلول كيميائي، فمحلول 1 نظامي يحتوي على غرام واحد من أيونات الهيدروجين المتوفرة أو ما يعادلها في لتر واحد من المحلول. و0.02 نظامي من محلول H_2SO_4 على 0.98 غرام من حمض الكبريتيك النقي والذي يبلغ 0.02 من الوزن المكافئ لحمض الكبريتيك) وتكون الخطوة الأولى في العينات مرتفعة القلوية المعايرة حتى الوصول إلى قيم pH تعادل 8.3. أما الطور الثاني، أو الخطوة الأولى في حالة مياه ذات قيمة pH أولية أقل من 8.3، فهو المعايرة حتى الوصول إلى قيمة pH مميزة تبلغ 4.5. والكواشف اللونية هي مواد كيميائية يتغير لونها عند pH محددة يمكن استخدامها للتأكد من بلوغ نقطة نهاية المعايرة هذه إذا لم يتم استخدام مقياس لدرجة الحمضية. يتحول لون الفينولفثالين من اللون الزهري ليصبح عديم اللون عند رقم حمضية 8.3، كما يتحول لون مزيج أخضر البروموسريسول–أحمر الميتيل من الرمادي المزرق عند رقم حمضية 4.8 إلى زهري فاتح عند رقم حمضية pH قدره 4.6. ويتحول لون برتقالي الميتيل الذي يمثل بديلاً عن مزيج البروموسيريسول–أحمر الميتيل، من البرتقالي عند رقم pH 4.6 إلى اللون الزهري عند الرقم 4. إن هذا الجزء من القلوية الكلية 8.3 يشار إليه بقلوية الفينولفثالين. ويعبر تقليدياً عن القلوية بميليغرامات $CaCO_3$ باللتر، والتي يعبر عنها بالمعادلة 2-29. لاحظ أنه عينة الماء قدرها 100 ml ونظامية الحمض تبلغ 0.02نظامي من المادة المعايرة فإن 1 ml من المادة المعايرة تمثل قلوية قدرها 10 mg/l.

والقلوية مقدرة بـــ $CaCO_3$ mg/l =

$$\frac{\text{ميليلتر من المادة المعايرة} \times \text{عيارية الحمض} \times 50000}{\text{ميليلتر من العينة}} \qquad \textbf{(29-2)}$$

والشكل 2-6 تمثيل بياني لصيغ مختلفة للقلوية المصادفة في عينات ماء. ويرتبط الشكل المذكور مع المعادلة 2-28. وإذا كان رقم الحمضية pH لعينة أقل من 8.3 فإن القلوية بكاملها في صيغة بيكربونات. والعينات التي تحوي قلوية كربونات وبيكربونات تكون فيها قيم pH أكبر من 8.3، والمعايرة بالفينولفثالين

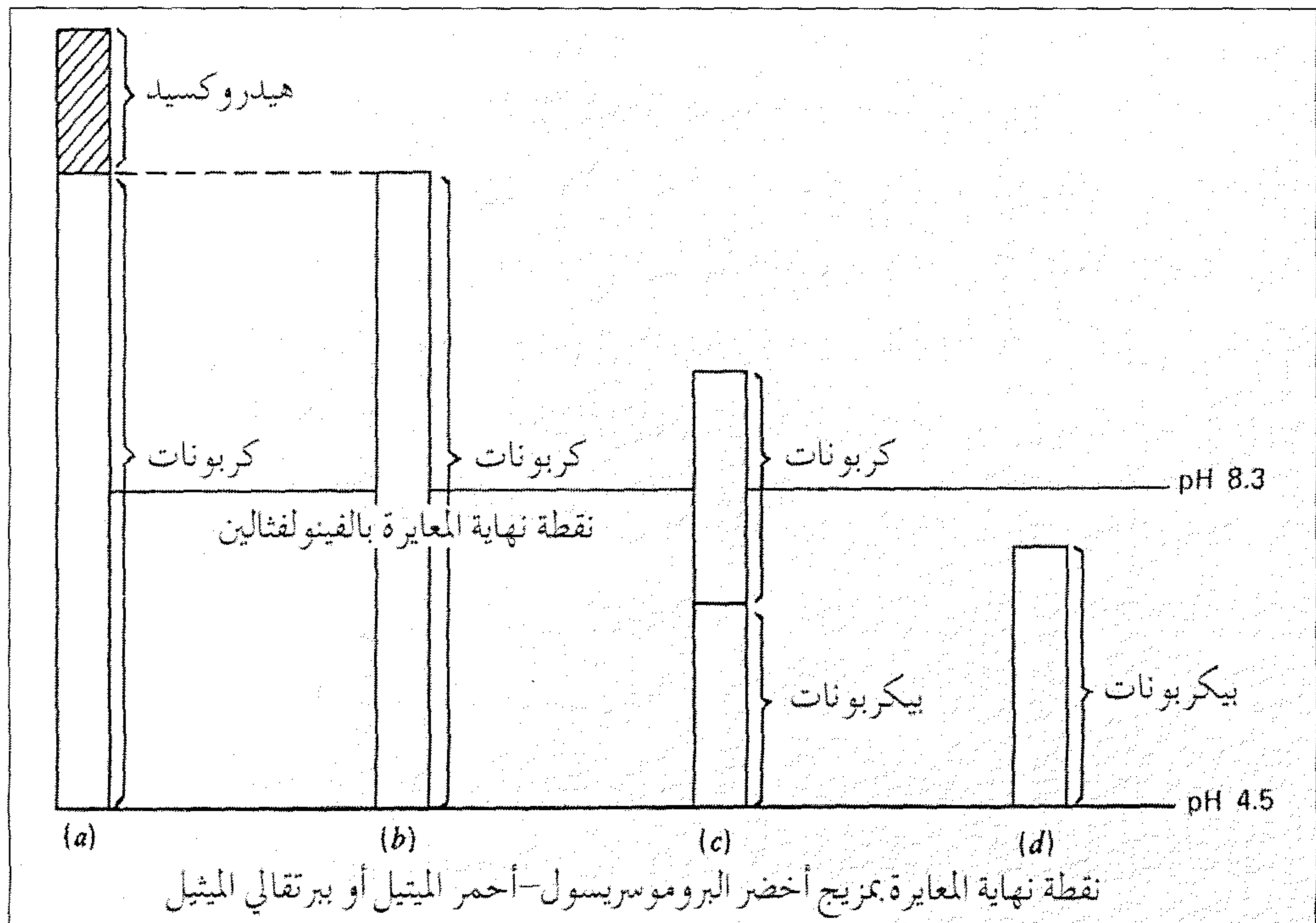
تمثل نصف قلوية الكربونات. فإذا تساوى عدد المليلترات من معاير الفينولفثالين مع عدد المليلترات من معاير مزيج أخضر البروموسريسول–أحمر الميتيل لدى نقطة نهاية المعايرة، فإن كل القلوية ستكون ممثلة بالكربونات. والقلوية التي تزيد على هذه الكمية تعزى إلى الهيدروكسيد (OH^-). وباستخدام الاختصارات p لقلوية الفينولفثالين المقاسة و T للقلوية الكلية، فإن العلاقات التالية تحدد الأشكال البيانية العمدانية في الشكل 2–6:

(أ) هيدروكسيد = $2P - T$ وكربونات = $2(T - P)$؛

(ب) كربونات = $2P = T$؛

(ج) كربونات = $2P$ وبيكربونات = $T - 2P$؛

(د) بيكربونات = T.



شكل 2-6: تمثيل بياني لأشكال مختلفة من القلوية في عينات ماء استنادا على نقاط نهاية المعايرة

مثال 2-8

تمّت معايرة 100 ml من الماء لتقدير قلويتها باستخدام حمض الكبريتيك 0.02 نظامي. تطلب الأمر 3.0 ml للوصول إلى نقطة نهاية المعايرة بالفينولفثالين، ثم أضيف 12.0 ml أخرى للوصول إلى تغير لون مزيج أخضر البروموسريسول- أحمر الميتيل. احسب القلوية الكلية وقلوية الفينولفثالين. حدد الصيغ الأيونية للقلوية الموجودة.

الحل

باستخدام المعادلة 2-29

قلوية الفينولفثاليين = $\frac{3.0 \times 0.02 \times 50000}{100}$

= 30 mg/l (بصورة $CaCO_3$)

القلوية الكلية = $\frac{15.0 \times 0.02 \times 50000}{100}$

= 150 mg/l (كـ $CaCO_3$)

وبالرجوع إلى الشكل 2-6،

القلوية ككربونات ($CO_3^=$) = 30×2 = 60 mg/l

القلوية كبيكربونات (HCO_3^-) = 150 - 60

= 90 mg/l

2-8 الغرويات والتخثر

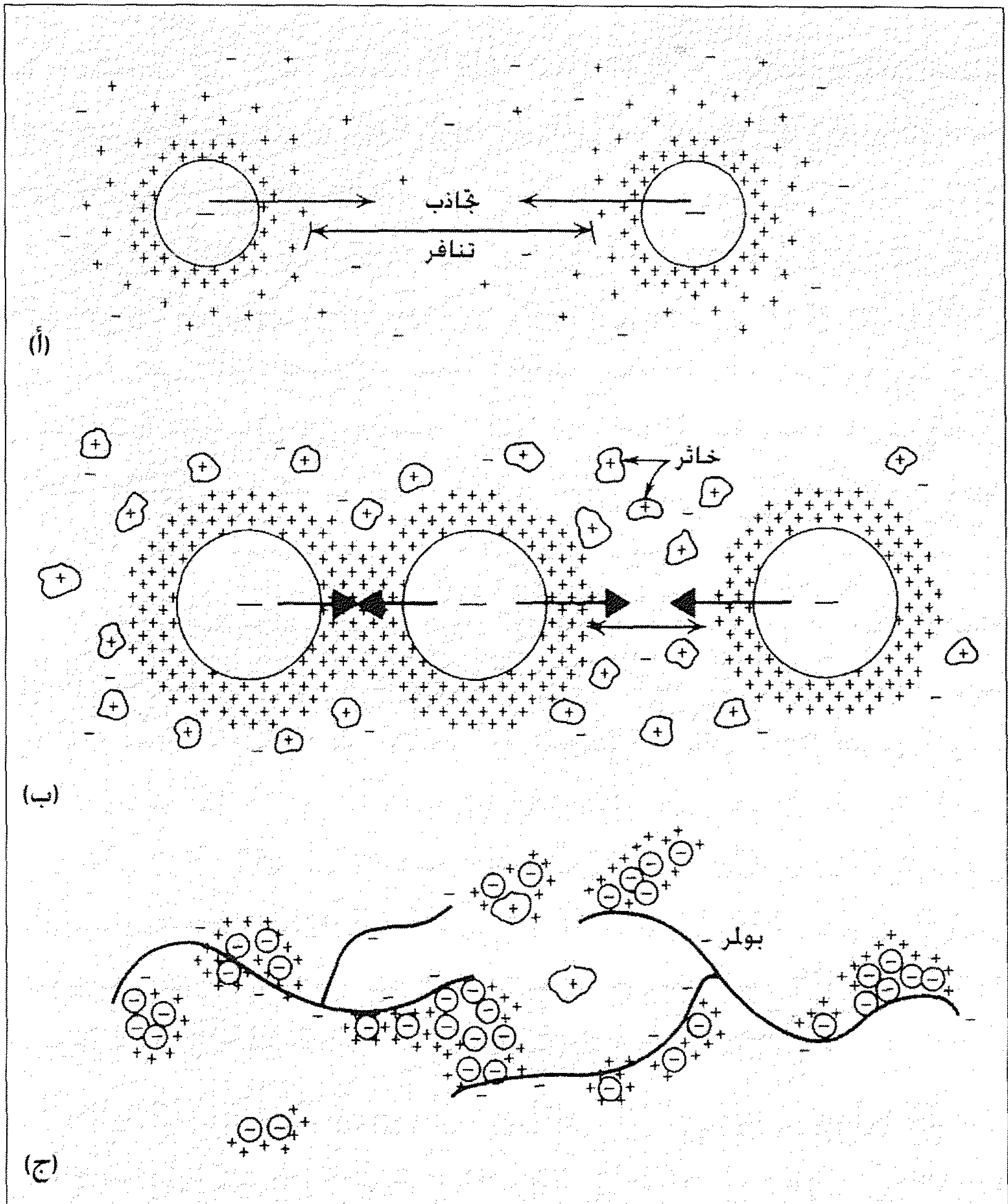
إن تنوعاً كبيراً من مواد منتجة للعكورة في الماء الملوثة كالمركبات الملونة وحبيبات الغضار والعضويات المجهرية والمادة العضوية الناتجة عن تحلل النبات والنفايات المنزلية، لا تتثفل ولا تنفصل بالتالي عن المحلول. تتراوح أبعاد هذه الحبيبات التي يشار إليها بالغرويات بين 1 و500 ميليمايكرون (نانومتر)، ولا يمكن رؤيتها باستخدام المجهر العادي. ويكون التوزع الغروي المكون من هذه الجسيمات ثابتاً في الماء الهادئة، نظراً إلى أن الجسيمات المفردة منها تتمتع بمساحة سطحية

كبيرة بالنسبة إلى وزنها بحيث لا تؤثر قوى الثقالة في بقائها معلقة. تصنف الغرويات بغرويات كارهة للمياه (هيدروفوبية، Hydrophobic) وغرويات محبة للمياه (هيدروفيلية، Hydrophilic).

الغرويات المحبة للمياه ثابتة، ويعزى هذا الثبات إلى جذبها لجزيئات إلى المياه أكثر من أن يعزى إلى وجود شحنة ضعيفة التي يمكن أن تتمتع بها. والأمثلة النموذجية على ذلك، الصابون، النشاء المُذاب، المنظفات الصناعية ومصل الدم. وبسبب حبها للمياه فإن من الصعب إزالتها من المحلول كغرويات كارهة للمياه، وتتطلب إزالتها غالباً كميات من المخثرات تتراوح بين 10 أمثال و20 مثل كمية المخثرات المستخدمة تقليدياً في معالجة الماء، وذلك لتخثير المواد المحبة للمياه.

لا تبدي الجسيمات الكارهة للمياه أي ميل تجاه الماء نتيجة تمتعها بشحنة كهربائية تجعلها ثابتة في المعلق. ومعظم المادة اللاعضوية والعضوية الموجودة في الماء الطبيعية العكرة هي من هذا النمط. يظهر (الشكل 2-7أ) القوى المؤثرة في الغرويات الكارهة للمياه. تبقى الجزئيات المفردة بعيدة عن بعضها البعض بسبب قوى التنافر الكهربائية الساكنة الناشئة عن وجود أيونات موجبة ممتزة على سطحها من المحلول. تشبه قوة التنافر تلك الموجودة بين قطبين عاديين لقضيبي مغنطيس. ويشار إلى مقدار قوة التنافر المتولدة من طبقة من الأيونات مزدوجة مشحونة والمشدودة إلى الحُبيبة، بـــ كمون زيتا Zeta Potential).

وتوجد قوة جاذبة طبيعية بين أيّ كتلتين (قوة فان دير فالس، Van der Waals force)، وتميل الحركة العشوائية للغرويات (الحركة البراونية، Brownian Movement) والناتجة من القصف بجزيئات الماء، إلى تحسين القوة الجاذبة الفيزيائية هذه، وذلك عبر شد الجسيمات إلى بعضها. غير أن أيّ معلق غروي يبقى مبعثراً إلى ما لا نهاية عندما تتجاوز قوة التنافر القوى الجاذبة، الأمر الذي لا يسمح للجسيمات بالتالي من التماس.



شكل 2-7: مخطط لأفعال الغرويات والتخثر، (أ) القوى الممارسة على الغرويات الكارهة للمياه في معلق مستقر، (ب) ضغط شحنة الطبقة المزدوجة على الغرويات (قلقلة الاستقرار) عبر إضافة مخثر كيميائي، (ج) التراكم الناتج عن التخثر بإضافة أملاح معدنية ومساعد بلمرة

إن هدف التخثر الكيميائي في معالجة الماء هو قلقلة استقرار الملوثات الموجودة في المعلق، الأمر الذي يتسبب بالتالي بتجاذب وتراكم الجسيمات وتشكيل

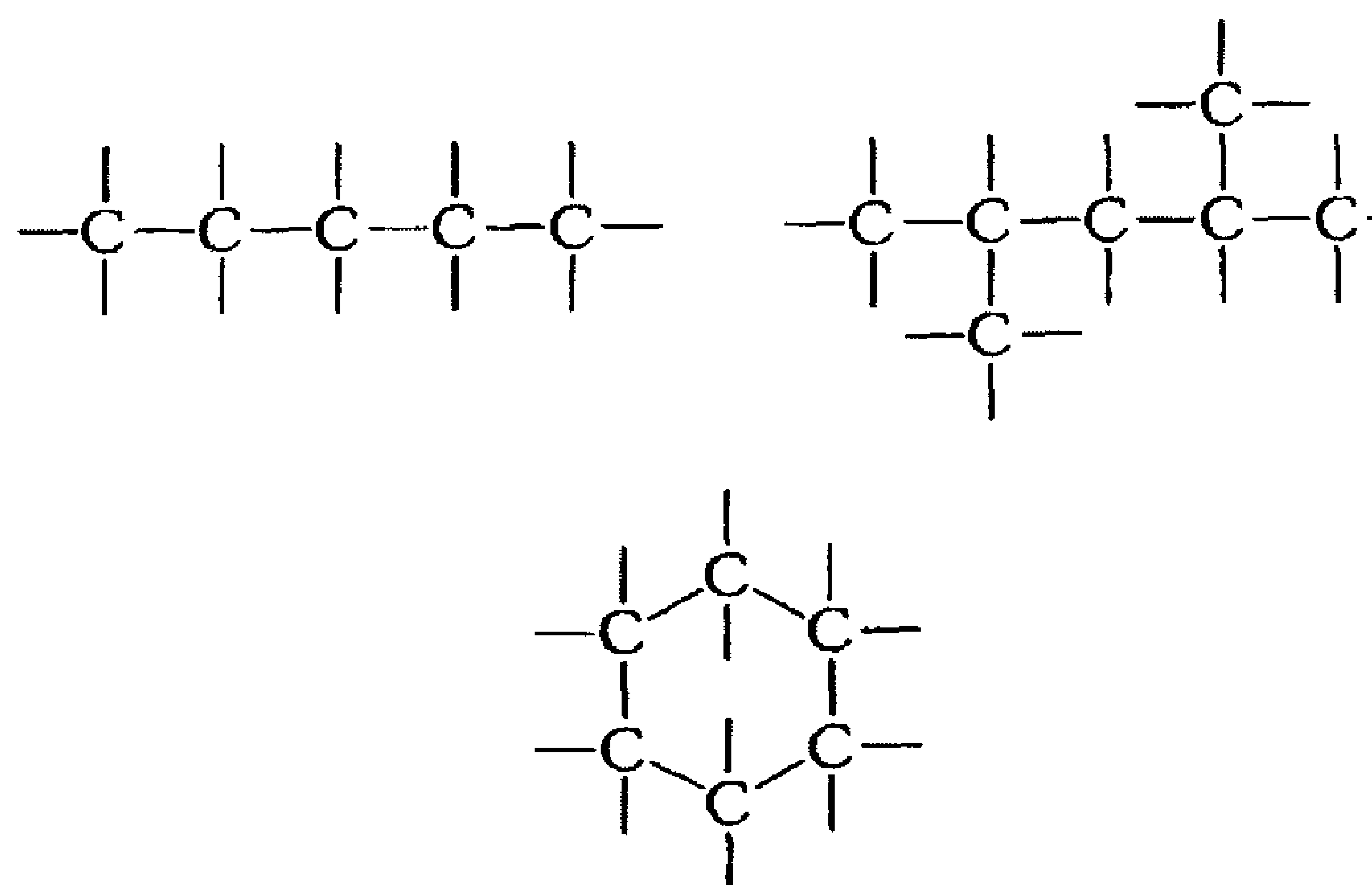
خثرات تنفصل عن المحلول بالترسيب. تتم قلقلة استقرار غرويات كارهة للمياه بإضافة مخثر كيميائي كأملاح الألمنيوم والحديد. تخفض الأيونات المعدنية المحلمأة عالية الشحنة الناتجة من وجود هذه الأملاح في محلول ما من قوة التنافر بين الغرويات وذلك عبر ضغط الطبقات المزدوجة المنتشرة المحيطة بالجسيمات المفردة (شكل 2-7ب). ومع تخامد قوى التنافر، يتسبب المزج اللطيف للمحلول بتماس الجزئيات، تتسبب قوى التجاذب بالتصاق الجزيئات ببعضها البعض لتنتج بالتالي تجمعات نامية. ويمكن إضافة مساعدات التخثر لتحسين عملية التكدر. فمثلاً تقدم البوليميرات العضوية تجسيراً للجسيمات عبر ارتباطها بسطوح الغرويات الممتزة لتبني كتلاً متلبدة أكبر (شكل 2-7ج).

تعتمد إزالة العكورة عبر التخثر على نوع الغرويات في المعلق، درجة الحرارة، رقم الحمضية pH، التركيب الكيميائي للمياه، نمط المخثرات والمساعدات التخثر ومقدار جرعتها، ودرجة وزمن المزج اللازمين للتشتت الكيميائي ولتشكل الكدرات. وبالرغم من أن مصطلح التخثر (Coagulation) في الكيمياء يعني قلقلة استقرار التشتت الغروي عبر ضغط الطبقة المزدوجة (شكل 2-7أ)، والتكدر (Flocculation) يشير إلى تجمع الجسيمات، إلا أن المهندسين لا يقصرون عادة استخدام هذه المصطلحات على وصف الآليات الكيميائية فقط. فغالباً ما يرتبط التخثر والتكدر بالعمليات الفيزيائية المستخدمة في المعالجة الكيميائية. يستخدم المزج المتضمن تحريكاً عنيفاً لإذابة وتشتيت المواد المخثرة في كافة أرجاء الماء الخاضعة للمعالجة. والتخثر عملية مزج بطيئة، تلي التشتيت الكيميائي، والتي من خلالها تتحول الجسيمات غير المستقرة إلى تخثرات كبيرة ذات حجم مناسب يمكنها الترسب. ويُستخدم مصطلح التخثر بشكل شائع لوصف كامل عملية المزج والتخثر. إن الوحدات الفعلية المستخدمة في المعالجة الكيميائية قد تؤسس في سلسلة (مزج-تخثر-ترسيب، Mixing, Flocculationk Sedimentation) أو قد تجمع في خزان

واحد مجزأ إلى حجيرات. ويوفر نظام متسلسل، كما يبدو في الشكل 7-4، دقيقة واحدة للمزج السريع، وثلاثين دقيقة للتخثر، وساعتين إلى أربع ساعات للترسيب، يليها ترشيح لإزالة المادة غير القابلة للترسب. يقوم جهاز المخثر-المروّق (شكل 7-10) بمزج الماء الخام، ومن ثم إدخال المواد الكيميائية مع المواد الصلبة التي قد تخثرت سابقاً في حجيرة المزج الرئيسة، الأمر الذي يسمح بتماس المواد الصلبة القابلة للترسب مع الماء غير المعالجة والمواد الكيميائية النقية. ترجع المواد الصلبة المترسبة في المنطقة المحيطية أوتوماتيكياً إلى منطقة المزج، يتم سحب تراكم المواد الصلبة من القاع بهدف طرحها.

9-2 المركبات العضوية

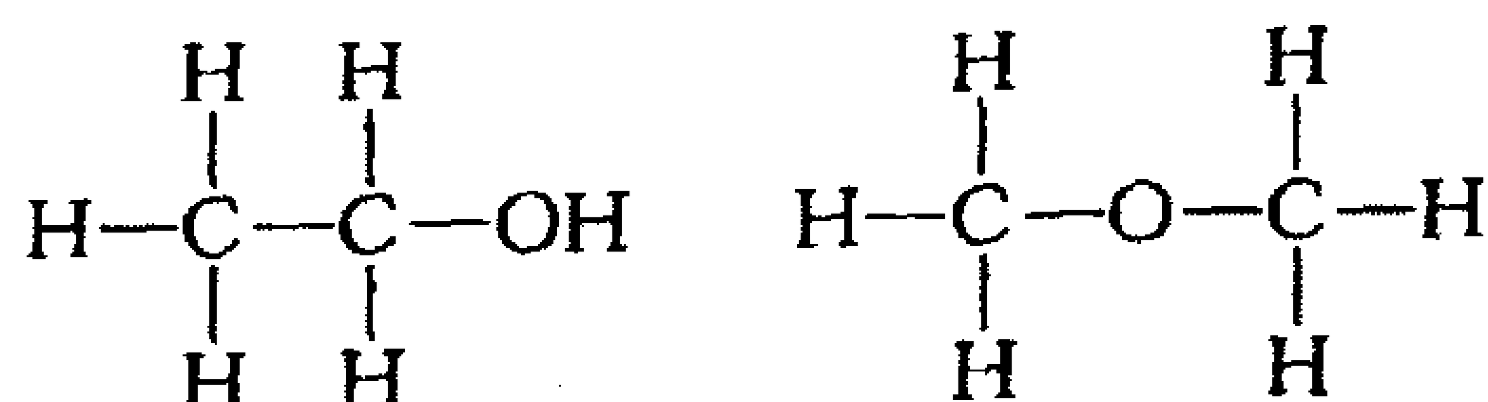
تحتوي كافة المركبات العضوية ذرات كربون ترتبط ببعضها بعضاً في بنى حلقية أو متسلسلة يرتبط بها عناصر



أخرى، والمكونات الرئيسة في هذه البنى هي الكربون والهيدروجين والأكسجين بينما تضم العناصر الثانوية النتروجين والفوسفور والكبريت ومعادن محددة. تتمتع كل ذرة كربون بأربعة روابط اتصال. والعضويات مواد مشتقة من

الطبيعة كالألياف النباتية والأنسجة الحيوانية عبر تفاعلات التركيب التي تنتج المطاط والبلاستيك وما شابهها. وعبر عمليات التخمر (Fermentation) على سبيل المثال تنتج الكحولات والأحماض والأجسام المضادة وغيرها. وعلى نقيض المركبات اللاعضوية، تكون المركبات العضوية قابلة للاحتراق وذات وزن جزيئي عال، ويكون ذوبانها في الماء ضئيل إذ إنها تتفاعل معه كجزيئات أكثر من تفاعلها معه كذرات، وتعتبر مصدراً لغذاء الحيوانات المستهلكة والجراثيم المحللة.

إن الصيغة الجزيئية لمركب عضوي محددة، ولكن في الكيمياء العضوية يمكن لصيغة افتراضية أن تمثل أكثر من مركب. فعلى سبيل المثال يمكن ترتيب الصيغة C_2H_6O بحيث تمثل المادتين التاليتين:



تمثل الصيغة الواقعة إلى يسار الشكل السابق الكحول الإيثيلي ، بينما تمثل تلك الواقعة إلى اليمين دي ميثيل إيثير. وتدعى المركبات التي لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنها ذات بنية صيغ بنيوية مختلفة إيزوميرات. ونتيجة للإيزوميرية ولتكرار البنية الحلقية، تعطى المركبات العضوية عادة صيغة بيانية أكثر من إعطاءها صيغاً جزيئية. ولسهولة الطباعة، فإن الصيغ التي لا تحوي خلقت تكتب عادة على سطر واحد، فمثلاً يصبح الكحول الإيثيلي وديميثيل إيثير.



CH_3CH_2OH و $CH_3—O—CH_3$

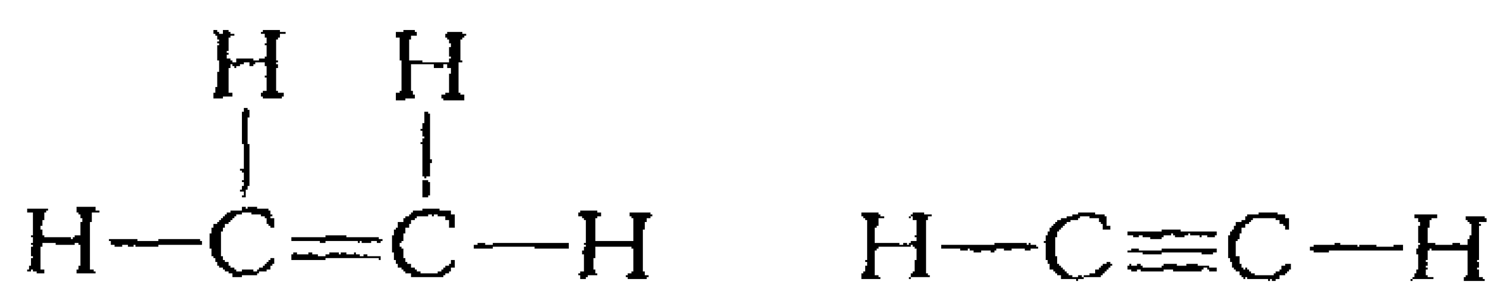
يحوي الهيدروكربون (البارافينات والألكينات) على عنصري الكربون والهيدروجين فقط مع روابط فردية بين ذرات الكربون. والميتان والذي يعتبر أبسط هيدروكربون هو غاز ينتج من عمليات التحلل اللاهوائي لحمأة الصرف وعندما يمزج مع الهواء بنسبة 90% يصبح شديد الانفجار بحيث يمكن استخدامه كوقود في

المحركات الغازية أو في مراجل الحمأة. ويمكن الحصول على البارافينات الهيدروكربونية قصيرة السلسلة من البترول عبر التقطير الجزئي. ويتوفّر البروبان في اسطوانات ضغط عالي للاستخدام كوقود تسخين (معادلة 2-30)



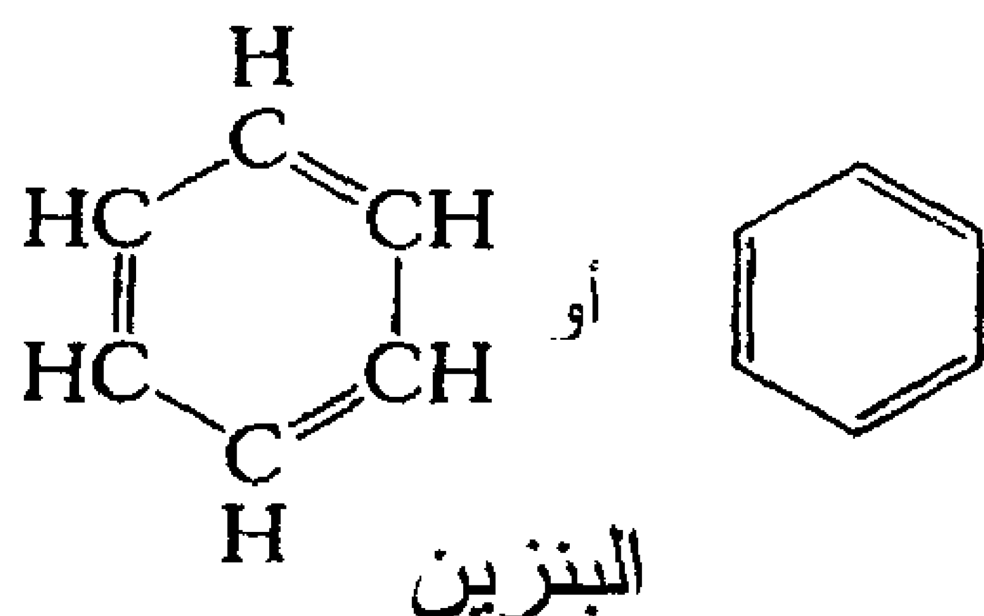
$$CH_3CH_2CH_3 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O + \text{طاقة} \qquad (30\text{-}2)$$

يظهر الجدول 2-6 أسماء وصيغ هيدروكربون مشبع ذا نسبة واحد إلى أربعة كربون مع جذور المركبات الأم. أما الهيدروكربون غير المشبع (أوليفين) فيمكن تمييزها عن البارفينات بوجود روابط متعددة بين ذرات الكربون، فمثلاً الإيثان (الإيثيلين) والأسيتان هما على التوالي:



تحل الروابط المتعددة محل ذرات الهيدروجين مشكلة وحدات تحتوي هيدروجين أقل من ما يمكنه الارتباط بها لذلك يستخدم مصطلح "غير مشبع" (Unsaturated). والزيوت النباتية الطبيعية الحاوية على عدد كبير من الروابط غير المشبعة تكون سائلة في درجة الحرارة العادية. والسمن النباتي الشائع والمتوفّر كدهون صلبة تُنتج تجارياً من الزيت عبر عملية الهدرجة (Hydrogenation) وهي إضافة غاز الهيدروجين تحت ظروف مراقبة. إن إنقاص عدد الروابط غير المشبعة يرفع من درجة الانصهار ويحول زيت ما إلى دهن صلب.

إن المركب الأم للهيدركربون الأريجي (Aromatic Hydrocarbons) هو البنزين، وهو حلقة مكونة من ست ذرات كربون مع روابط مضاعفة بين كل ذرات الكربون بالتناوب. ولإظهار ذرات الكربون عادة عند كتابة الصيغة البيانية. ويستخدم البنزين في صناعة طيف واسع من المنتجات التجارية بما فيها المتفجرات، والمبيدات الحشرية، وأنواع محددة من البلاستيك والمذيبات والأصبغة.



البنزين

جدول 2-6: هيدروكربونات مشبعة

الاسم	الصيغة	الجذر	الصيغة
ميثان	CH_4	ميثيل	CH_3^-
إيثان	CH_3CH_3	إيثيل	$CH_3CH_2^-$
بروبان	$CH_3CH_2CH_3$	بروبيل-ن	$CH_3CH_2CH_2^-$
		إيزوبروبيل	CH_3 $CH-$ CH_3 CH^- CH_3
بوتان-ن	$CH_3CH_2CH_2CH_2$-	بوتيل-ن	$CH_3CH_2CH_2CH_2^-$

جدول 2-7: كحولات أساسيّة

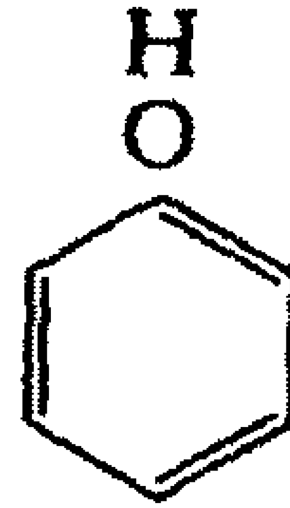
الاسم الشائع	اسم IUPAC (*)	الصيغة
كحول ميثيلي	ميثانول	CH_3OH
كحول إيثيلي	إيثانول	CH_3CH_2OH
كحول بروبيل ن	1-بروبانول	$CH_3CH_2CH_2OH$
كحول إيزوبروبيل	2- بروبانول	CH_3 $CHOH$ CH_3

(*) IUPAC الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية.

الكحولات

تتشكل الكحولات اعتباراً من الهيدروكربون وذلك عبر إحلال ذرة أو أكثر من ذرات الهيدروجين بمجموعة الهيدروكسيل (-OH). يبين الجدول 2-7 أسماء وصيغ ثلاثة كحولات رئيسة. يصنّع الميثانول صناعياً بعملية حفّازة من أول أكسيد الكربون والهيدروجين. ويستخدم على نطاق واسع في تصنيع مركبات عضوية كالفورمالديهيد والمذيبات وإضافات الوقود. ينتج الكحول الإيثيلي المستخدم في صناعة المرطبات من تخمير العديد من المواد الطبيعية كالذرة والقمح والأرُز والبطاطا. بينما يتم إنتاج الإيثانول الصناعي من تخمير محلول الصرف الحاوية على سكاكر من قبيل دبس السكر الأسود وهو مادة متبقية عن تنقية سكر القصب. وللبروبانول إيزوميرين اثنين، الأكثر شيوعاً منهما هو إيزوبروبيل الكحول وهو مستخدم على نطاق واسع في الصناعة ويباع ككحول طبي. إن الكحولات الثلاثة المدرجة في الجدول 2-7 لها نقطة غليان أقل من 100°C وقابلة للمزج بالماء.

إن مشتق البنزين الحاوي على مجموعة هيدروكسيل واحدة، والمعروف باسم الفينول له صيغة جزيئية C_6H_5OH وتمثيل بياني هو

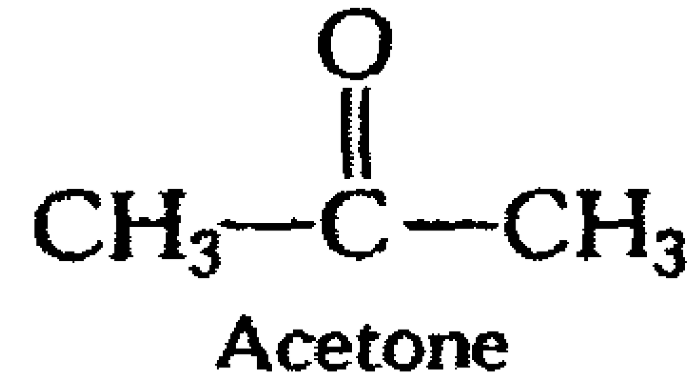


إن الصيغة ونهاية الاسم بـ "ول"، تشيران إلى خصائص الكحول، ولكن الفينول والمعروف باسم حمض الكربوليك يتأين في الماء معطياً أيونات هيدروجين مبدياً سمات حمض. يوجد الفينول كمركب طبيعي في مياه الصرف الناتجة من صناعات غاز الفحم النفطية ومن طيفٍ كبيرٍ من مياه الصرف الصناعي حيث يُستخدم في هذه الصناعات كمادة خام. والفينول مادة عالية السُميّة، ما يجعل

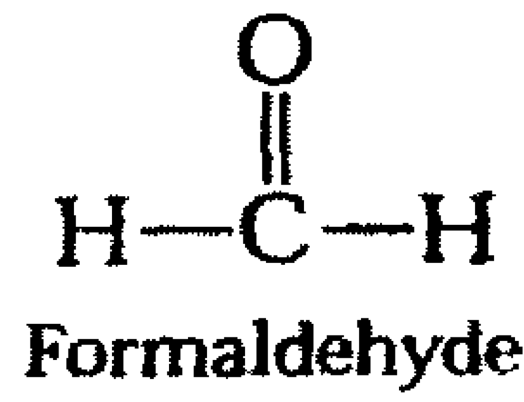
النفايات الحاوية عليها صعبة المعالجة في الأنظمة البيولوجية. كما يضفي الفينول مَذاقاً غير مستساغ للمياه، حتى وإن كان بتراكيز ضئيلة للغاية.

الألدهيدات والكيتونات

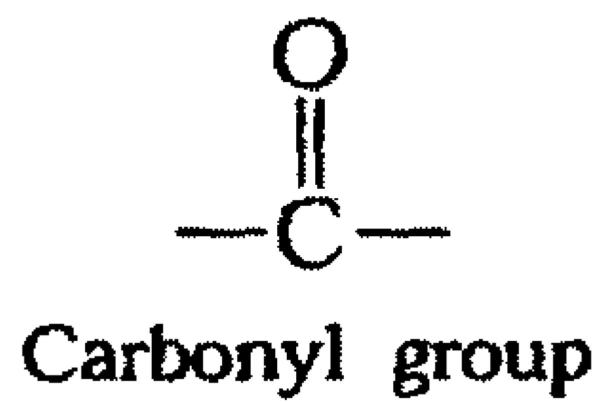
هي مركبات تحتوي على مجموعة الكربونيل. وإضافة لاستخدام الفورمالديهيد كمادة حافظة للعينات الحيوية، يستخدم أيضاً لإنتاج مجموعة متنوعة جداً من البلاستيك والصموغ. أما الأسيتون (ديميتيل كيتون) فهو مذيب جيد للدهون وهو مادة تنظيف شائعة لزجاجيات المخابر.



أستون



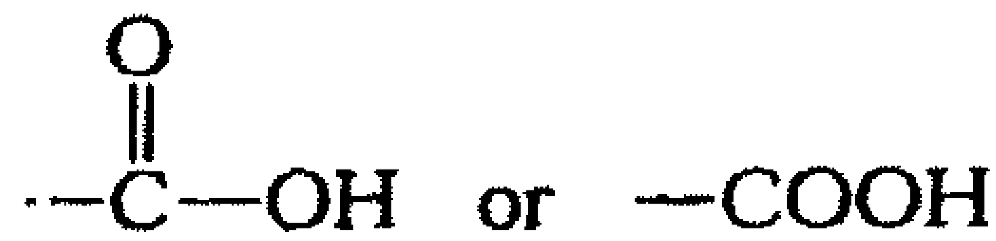
فورمالدهيد

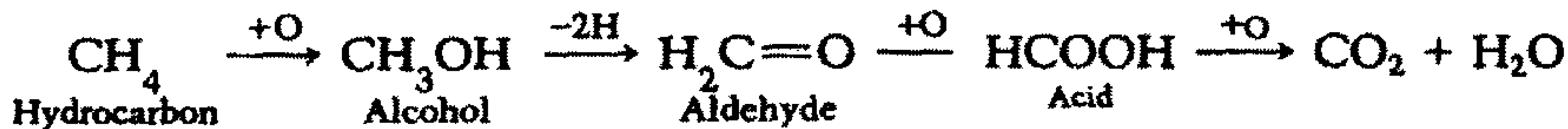


مجموعة الكربونيل

أحماض الكربوكسيل

تحوي كافة الأحماض العضوية مجموعة الكربوكسيل والتي تكتب كالآتي



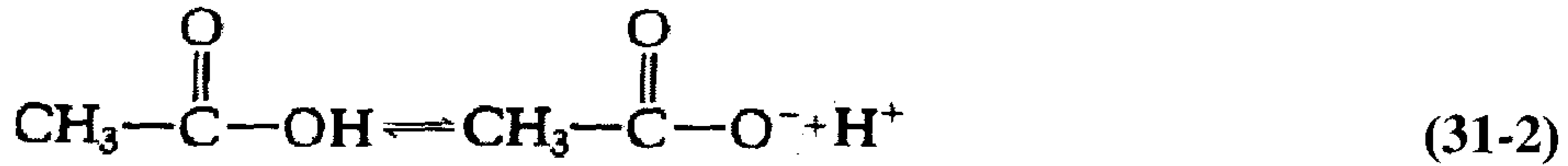


وهذه أعلى حالة أكسدة يمكن لجذرٍ عضوي أن يبلغها. وستتسبب أيّ أكسدة إضافية بتشكل ثاني أكسيد الكربون والماء.

حمض أليدهيد كحول هيدروكربون

يظهر الجدول 2-8 أسماء وصيغ وثوابت تأين أبسط ستة أحماض. وتكوّن الأحماض التي تحوي تسع ذرات كربون سوائل، بينما تكوّن الأحماض ذات

السلاسل الطويلة مواد صلبةً دهنية، ومن هنا كان لها اسم عام شائع هو الأحماض الدهنية. ونظراً إلى كون الأحماض العضوية ضعيفة وبالكاد تتأين، تستخدم ثوابت محددة للتعبير عن درجة تأينها (ارجع إلى الفقرة 2–4). وقيم ثوابت التأين (Ionization Constants) في الجدول 2-8 هي لمحاليل مخففة. بالنسبة إلى حمض عضوي نموذجي اعتبر تفكك (Dissociation) حمض الخليك (Acetic Acid).



$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH \rightleftharpoons CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^- + H^+ \qquad (31\text{-}2)$$

يساوي ثابت التأين التركيز المولاري لأيون الأسيتات مضروباً بتركيز أيون الهيدروجين مقسوماً على الكمية المولارية لجزء حمض الخليك في المحلول، المعادلة 2-32. إن قيمة K لحمض الخليك تبلغ 0.000018 عند درجة حرارة 25°C، وتعني هذه القيمة أنه في محلول مخفف بدرجة معتدلة، فإن 18 جزءاً فقط من أصل كل مليون جزء حمض الخليك تتحلل في الماء معطيةً أيونات هيدروجين.

$$K = \frac{[CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^-][H^+]}{[CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH]} = 0.000{,}018 \qquad (32\text{-}2)$$

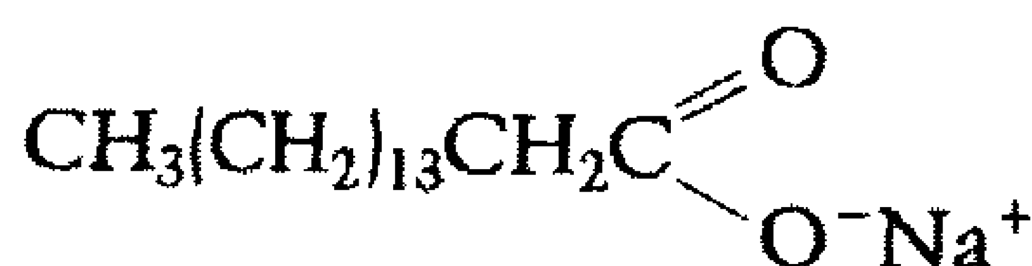
وروائح أحماض الفورميك، والخل (الأسيتيك)، والبروبيونيك نفاذة، بينما روائح أحماض البيتيريك والفاليريك كريهة للغاية ويصحبها دهون وزيوت زنخة الرائحة. يتشكل نتيجة التحلل اللاهوائي للأحماض الدهنية طويلة السلسلة، حمضا كربون وثلاثة أحماض كربون، تتحول إلى ميثان وكربون ديوديوكسيد في أثناء هضم حمأة الصرف.

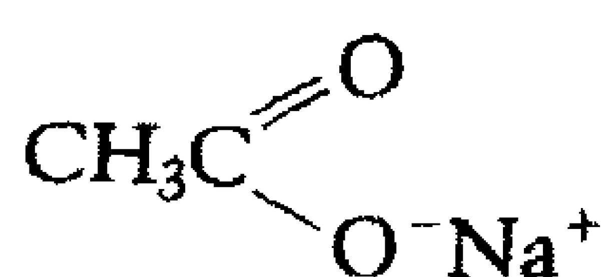
جدول 2-8: أحماض الكربوكسيل

الاسم الشائع	اسم IUPAC(*)	الصيغة	ثابت التأين K
الفورميك	ميثانويك	$HCOOH$	0.000214
الأسيتيك	إيثانويك	CH_3COOH	0.000018
البروبينيك	بروبانويك	CH_3CH_2COOH	0.000014
البيتيريك-ن	بوتانويك	$CH_3CH_2CH_2COOH$	0.000015
الفاليريك	بنتانويك	C_4H_9COOH	0.000016
الكابرويك	هكسانويك	$C_5H_{11}COOH$	غير قابل للذوبان تقريباً

(*) IUPAC الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية.

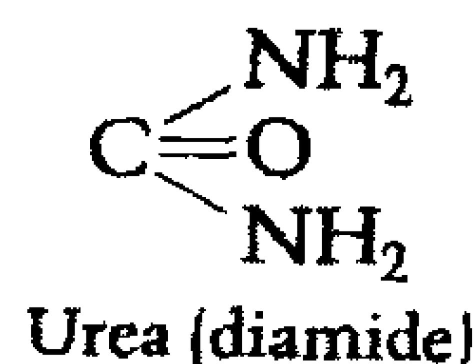
تتفاعل المركبات الأساسيّة مع الأحماض لتنتج أملاحاً، فمثلاً يتفاعل NaOH مع حمض الخليك منتجة خلات الصوديوم. والصابون هو أملاحٌ لأحماضٍ دهنيةٍ طويلة السلسلة.



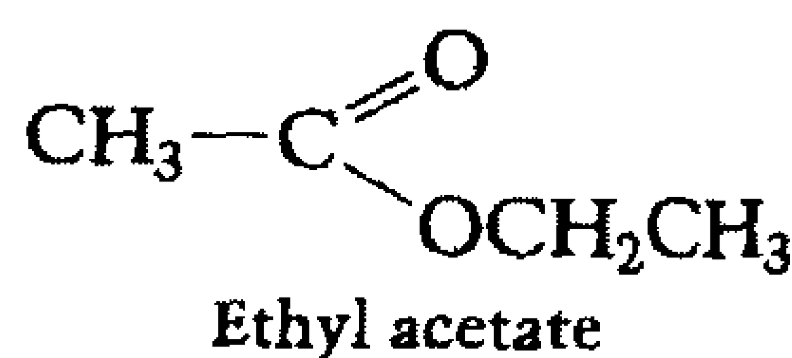


بالميتات الصوديوم (صابون)   خلات الصوديوم

وهناك مشتقات أخرى لأحماض الكربوكسيل تتضمن الإسترات كالخلات (أسيتات) الإيثيل والأميدات منها مثلاً اليوريا.



Urea (diamide)



Ethyl acetate

اليوريا (دياميد)   خلات (أسيتات) الإيثيل

والجدول 2-9 ملخص للمجموعات الوظيفية للمركبات العضوية. وهذه البيانات مفيدة في تحديد مركب عضوي ما اعتماداً على صيغة أو اسم. والأمينات التي

تظهر في أسفل الجدول يمكن اعتبارها مشتقات للأمونيا، حيث استبدلت ذرات الهيدروجين فيها بسلاسل أو حلقات كربون.

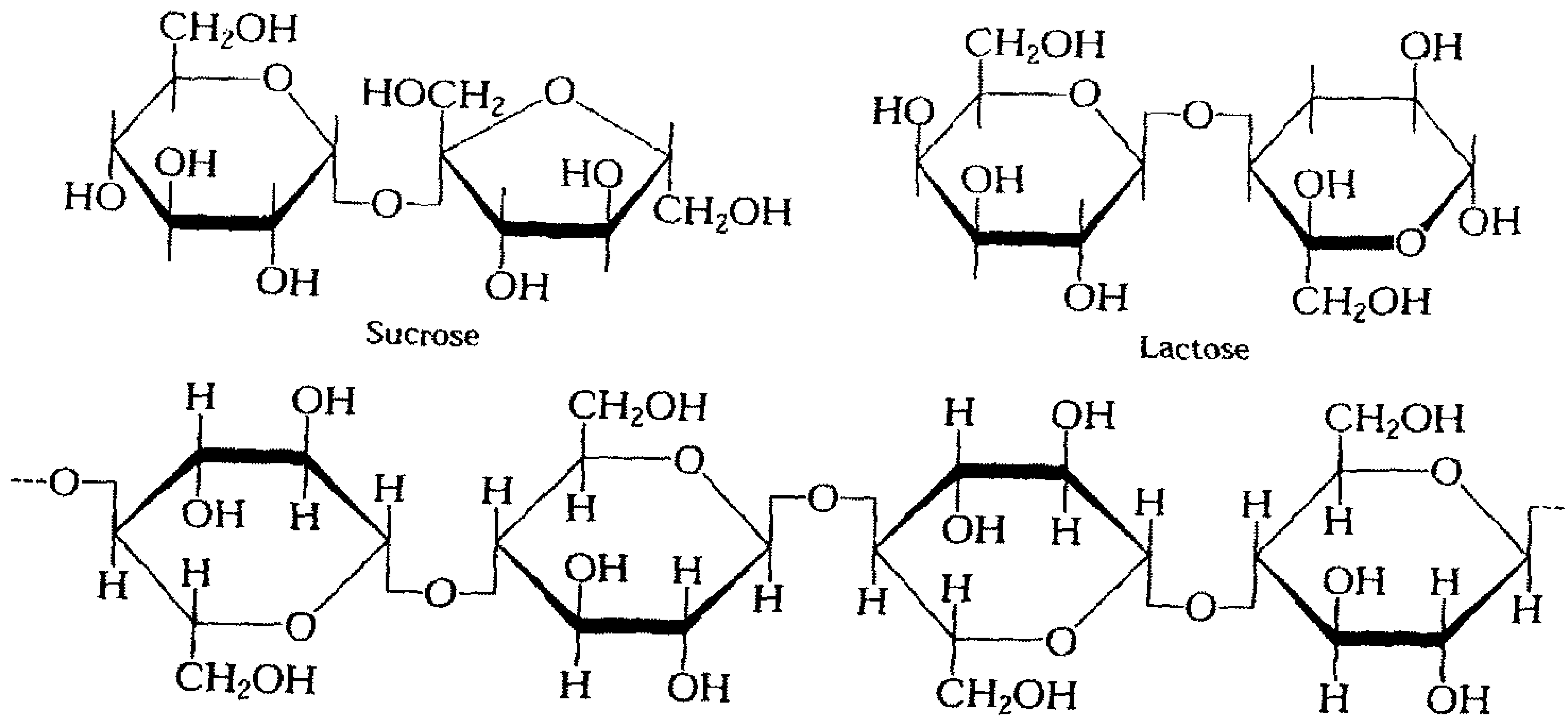
جدول 2-9: المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية

المجموعة الوظيفية	نمط المركب	قوة نهاية الاسم	مثال	الاسم الشائع	اسم IUPAC
$-\overset{\mid}{\underset{\mid}{C}}-\overset{\mid}{\underset{\mid}{C}}-$	هيدركربون مشبع	-ane	CH_3CH_3	إيثان	إيثان
$-\overset{\mid}{C}=\overset{\mid}{C}-$	أوليفين	-ene	$H_2C=CH_2$	إيثيلين	إيثين
$-C\equiv C-$	اسيتيلين	-yne	$H-C\equiv C-H$	اسيتيلين	إيثين
$-OH$	كحول	-ol	CH_3CH_3-OH	كحول إيثيلي	إيثانول
$-O-$	إيثير	--	$H_3CH_2-O-CH_2CH_3$	كحول إيثير	إيثوكسي إيثان
$-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-H$	ألديهيد	-al	$CH_3-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-H$	أسيت ألدهيد	إيثانال
$-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-$	كيتون	-one	$CH_3-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-CH_3$	أسيتون	بروبانون
$-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-OH$	حمض الكربوكسيل	-oic acid	$CH_3-\overset{O}{\overset{\parallel}{C}}-OH$	حمض الخليك (الخليك)	حمض الأيثانويك
$-N\begin{smallmatrix}H\\H\end{smallmatrix}$	أمين	--	CH_3-NH_2	ميثيلامين	أمينوميثان

2-10 المركبات العضوية في مياه الصرف

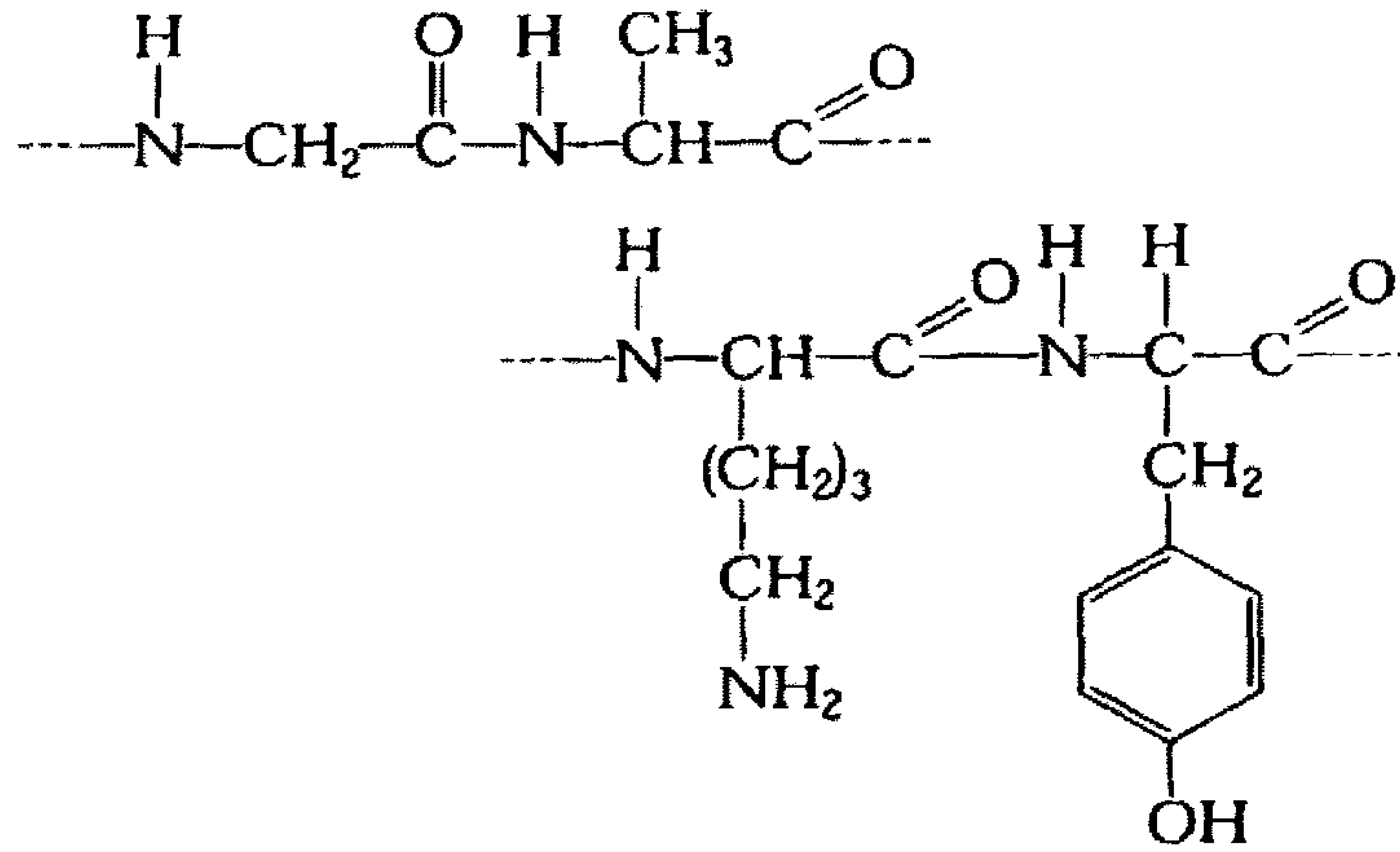
تصنف المادة العضوية القابلة للتفكك حيوياً في مياه الصرف المنزلي في أنواع ثلاثة رئيسة: كربوهيدرات، بروتين، ودهون. تتكون الكربوهيدرات من وحدات

سكر تحتوي على عناصر كربون وهيدروجين وأكسجين. تُعرف حلقة السكر مفردة باسم مونوساكريد، حيث يوجد بعض منها بشكل طبيعي. أما ديساكريدز فهو مركب مكون من وحدتي مونوساكريد. في حين يتكون سكر المائدة السكروز من الغلوكوز والفراكتوز، والسكر السائد في الحليب هو اللاكتوز، وهو مكوّن من الغلوكوز والغالاكتوز. ويمكن أن يقسم السكريات المتعددة والتي هي في الواقع سلسلة طويلة من وحدات السكر، إلى مجموعتين: الأولى نشويات قابلة للتفكك متوفرة في البطاطا والأرُز والذرة ونباتات أخرى صالحة للأكل، والثانية السليلوز والموجودة في الخشب والقطن والورق وأنسجة نباتية مشابهة. تتفكك مركبات السليلوز حيوياً بمعدلات أبطأ بكثير من النشاء (انظر الشكل الآتي).



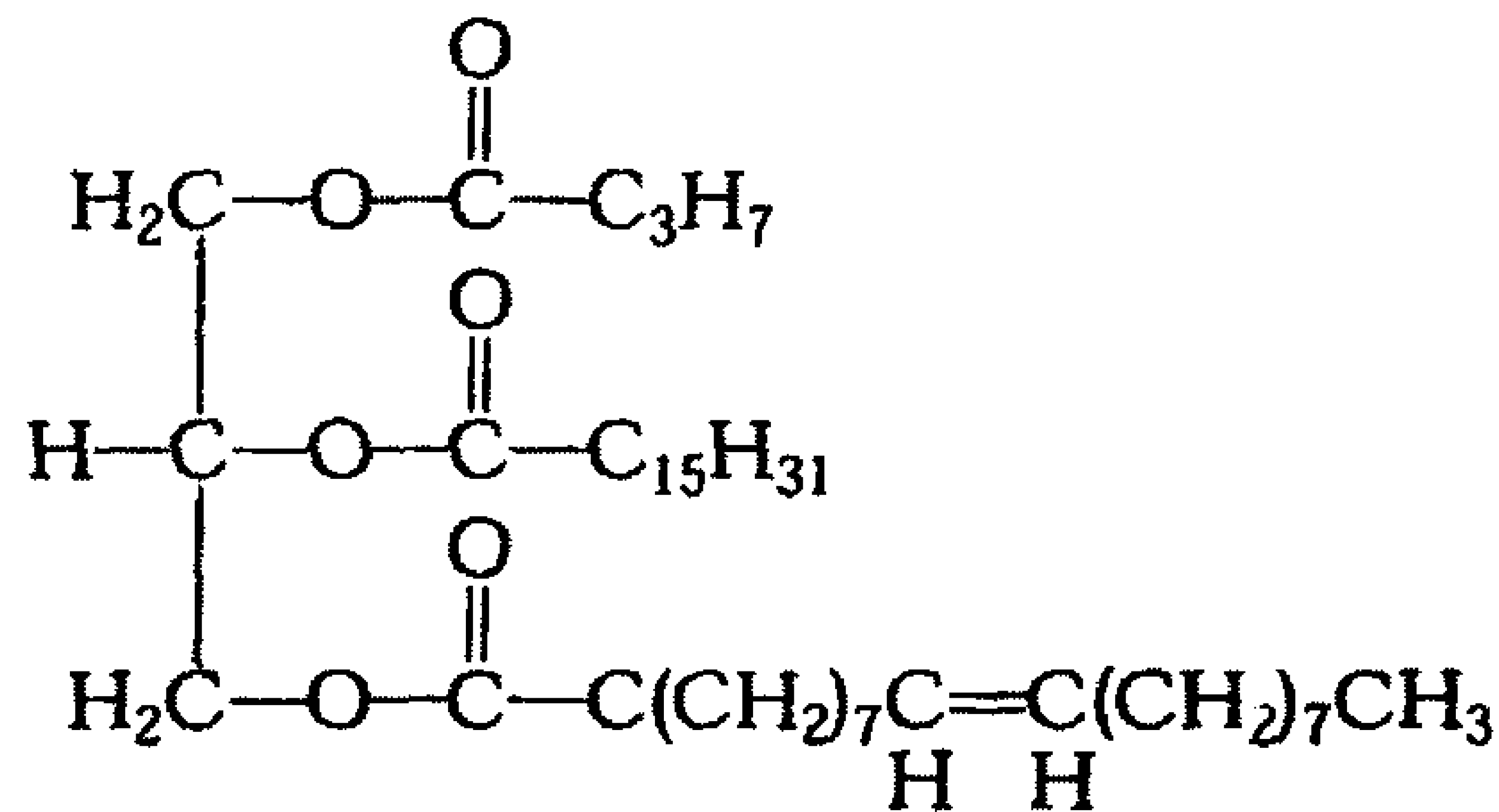
مقطع جزء سليلوز

البروتينات بالصيغة المبسطة هي صف طويل من أحماض أمين تحتوي كربون وهيدروجين وأكسجين ونتروجين وفوسفور، وتشكل جزءاً أساسياً في كل الأنسجة الحية وتشكل ضرورة غذائية لكل الحيوانات العليا. ويمثل الشكل التالي جزءاً صغيراً من بروتين يظهر أربعة أحماض أمينية مرتبطة ببعضها البعض.



أما الدهون فتدل على مجموعة متنوعة من المواد الحيوية الكيميائية تتمتع بخاصية مشتركة تتمثل في قابليتها للذوبان بدرجات مختلفة في المذيبات العضوية (إيثير، إيثانول، أسيتون والهكسان)، أما ذوبانيتها في الماء فضئيل جداً. ونظراً إلى ذوبانيتها المحدودة فإن تفككها بواسطة العضويات الدقيقة يتم بمعدلات بطيئة جداً. ويتكون دهن تريغليسيريد البسيط من وحدة غلسيرول يرتبط بها سلاسل طويلة أو قصيرة من أحماض دهنية.

إن صيغة الغلسيرول أوليوبوتيروبالميتات Oleobutyropalmitate الموجود في الزبدة هي التالية:



توجد أغلبية الكربوهيدرات والدهون والبروتينات في مياه الصرف بصيغة جزيئات كبيرة لا يمكنها اختراق جدار خلايا العضويات الدقيقة. ولكي تؤيّض البكتيريا المواد ذات الوزن الجزيئي الكبير، لابدّ لها من أن تكون قادرة على تفكيك الجزيئات الكبيرة إلى أجزاء قابلة للانتشار وامتصاصها في الخلايا. إن الخطوة الأولى في التفكيك البكتيري للمركبات العضوية هي حمأة الكربوهيدرات إلى سكريات، ذوّابة، والبروتينات إلى أحماض أمينية، والدهون إلى أحماض دهنية قصيرة. يتسبب التفكك الحيوي الهوائي اللاحق بتشكل ثاني أكسيد الكربون وماء. أما في حالة الهضم اللاهوائي، فإن التفكك بدون وجود الأكسجين يعطي نواتج نهائية مكونة من أحماض عضوية وكحولات ومواد وسيطة أخرى سائلة، ومكونات غازية من ثاني أكسيد الكربون والميثان وكبريتيد الهيدروجين.

إن 60 إلى 80% من المادة العضوية الموجودة في مياه الصرف جاهزة للتفكك الحيوي. وعلى الرغم من أن كثيراً من المركبات العضوية، كالسيللوز والهيدروكربون، طويلة السلسلة المشبعة، ومركبات معقدة أخرى مهيئة للتخمر البكتيري، إلا أنها تعتبر غير قابلة للتفكك الحيوي وذلك بسبب المحدودية الزمنية والبيئية لأنظمة المعالجة الحيوية لمياه الصرف. أما مشتقات النفط والمنظفات والمبيدات الحشرية ومركبات عضوية صنعية أخرى فهي مقاومة للتفكك الحيوي، كما إن بعضها سام ويعيق نشاط العضويات الدقيقة في عمليات المعالجة الحيوية. ومع أن بعض روائح الصرف تأتي من مواد لاعضوية مثل غاز كبريتيد الهيدروجين، إلا أن كثيراً منها ناتجة من مركبات عضوية طيارة مثل ميركابتان (مركبات عضوية ذات مجموعات SH) وأحماض البيوتيريك. وقد تنتج الصناعات مجموعة متنوعة من الروائح الطبية (Medicinal Odors) في أثناء معالجتها للمواد الأولية. ولتجمعات الماء السطحية المصابة بانتشار الطحالب الزُرْق-الخُضرْ رائحة تشابه رائحة زنخ السمك أو حظائر الخنازير. وفي الواقع إن ما نعرفه عن منشأ

وخصائص المركبات العضوية التي تصدر الروائح الكريهة قليل جداً. لذا يجب تحري كل حالة من محطات معالجة مياه الصرف التي تصدر روائح كريهة أو مذاقاً غير مستساغ في التجهيز بالماء على نحوٍ مستقل واضعين بالحسبان أن يكون مرد ذلك التفكك اللاهوائي أو المواد الكيميائية الصناعية أو نمو عضويات دقيقة غير مستحبة.

11-2 التحاليل الكيميائية المخبرية

المحاليل النظامية

تستخدم في الفحوص المخبرية بشكل واسع محاليل تحوي كواشف كيميائية بتراكيز معروفة فمحلول تركيزه واحد مول (1 M) يحوي غرام وزن جزيئي من مادة كيميائية في لتر من المحلول. فمثلاً يحتوي محلول مولاري من NaOH على 40.0 غرام من الملح النقي مذاباً بحجم كلي للمحلول قدره ا لتر. ومحلول واحد نظامي (1N) سيحتوي على غرام وزن مكافئ من الكاشف في لتر واحد من المحلول. ومحلول نظامي من NaOH سيحتوي الكمية نفسها من الملح مشابهة لتلك التي يحتويها محلول 1 مولاري، نظراً إلى أن الوزن الجزيئي والوزن المكافئ متطابقان، (انظر الجدول 2-3). ولكن في حالة حمض الكبريتيك، فإن محلول 1 مولاري يحتوي 98.1 غ/ل، بينما سيحتوي محلول 1 نظامي على 49 غ/ل.

يمكن التعبير عن تراكيز المحاليل بميليغرام في اللتر (mg/l)، وبالميليمكافئ في اللتر (meq/l)، وبالحبة في الغالون (grain per galon) (gpg)، وبالباوند في مليون غالون (libra/million galon) (lb/mil gal)، وبالباوند في مليون قدم مكعب (pound per million cubic feet) (lb/1,000,000 cu ft). وتوضح المعادلة 2-1 العلاقة بين meq/l وmg/l. ونظراً إلى كون 1 mg/l يمثل جزءاً وزنياً واحداً في 1,000,000 فهو يكافئ قيمة 8.34 بالـــ lb/mil gal، وذلك نظراً إلى كون وزن غالون واحد من

الماء يساوي 8.34 باوند. إضافة إلى ذلك، ولكون (cu ft) من الماء تزن 62.4 باوند، فإن mg/l واحداً يساوي 62.4 (lb/1.000.000 cu ft). وبالتعريف تحوي باوند واحدة 7000 حبة وبالتالي فإن mg/l واحد يساوي 0.0584 gpg، أو أن gpg واحدة تساوي 17.1 mg/l. وتلخص المعادلة 2-33 عوامل التركيز هذه.

$$100\ \text{mg/l} = 8.34\ \text{lb/ mil gal} = \frac{62.4}{1000000\,\text{cu ft}} = 0.0584\ \text{gpg} \qquad \textbf{(33-2)}$$

تركيز أيون الهيدروجين

يستخدم مصطلح pH المحدد بالمعادلة 2-4 للتعبير عن شدّة محلول حمض أو أساس. يقاس تركيز أيون الهيدروجين باستخدام جهاز قياس يقيسه بوحدات الـ pH مباشرة، كما هو موضح بالشكل 2-8.

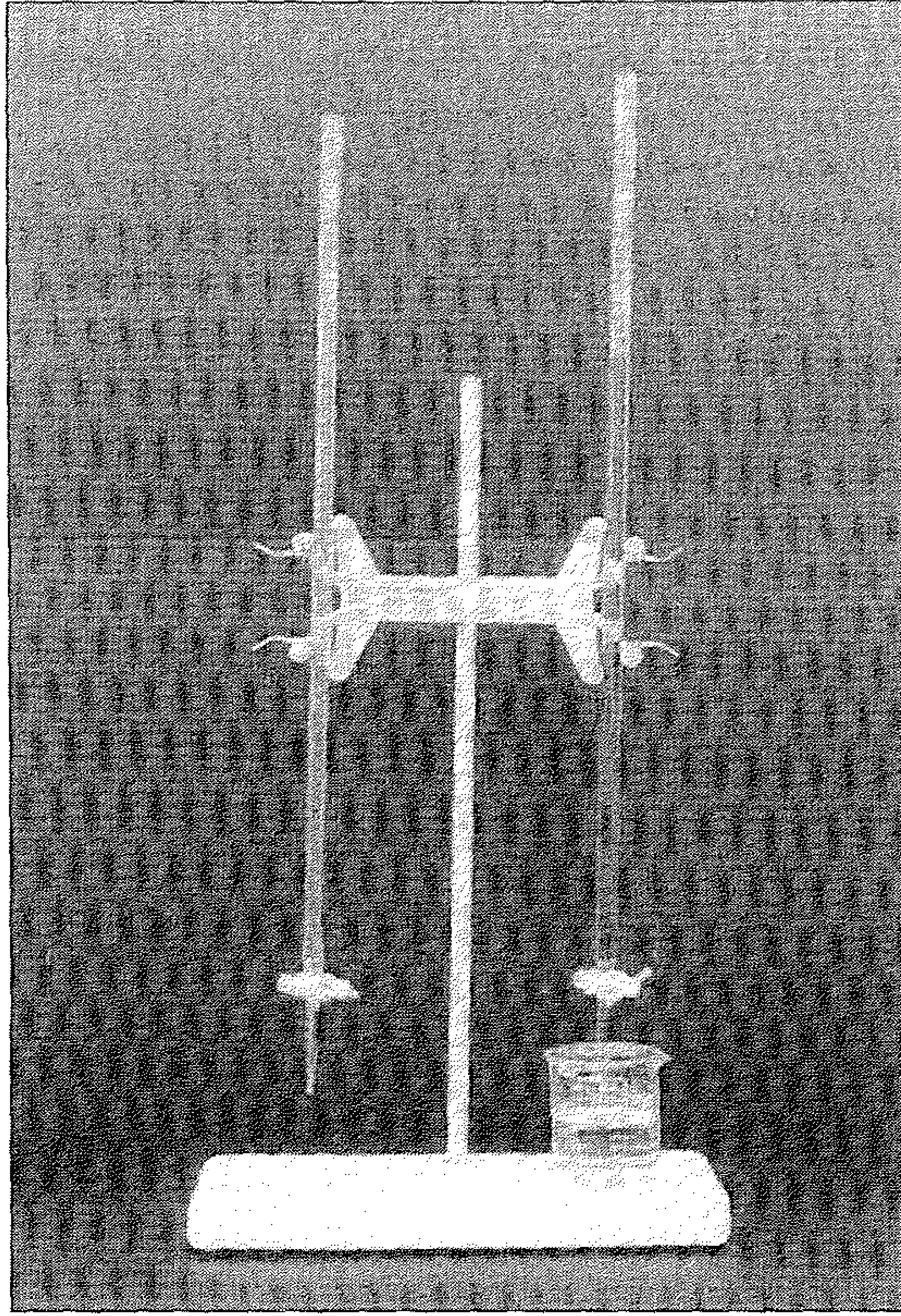
إن قطب الـ pH في الجهاز هو قطب من سلسلة البلاتين ضمن فقاعة زجاجية مزود بمستشعر حراري. يثبت مقياس pH من طراز pH/ISE (قطب انتقائي الأيون) على طاولة المخبر، ويمكن أن يعاير أيضاً باستخدام محاليل قياسية خطية ولا خطية للمعايرة، وذلك لقياس تراكيز الأيونات باستخدام أقطاب مخصصة لقياس أيون محدد كالكلور والفلور والنترات.



شكل 2-8: مقياس pH/ISE منضدي (قطب انتقائي الأيون) مع حامل تثبيت pH عينة مائية. يمكن للجهاز أن يقيس أيضاً تراكيز أيونات منتقاة باستخدام أقطاب قياس خاصة بتلك الأيونات (موافقة Hack CO (Loveland, CO

القلوية والحمضية

تناقش الفقرة 2-7 القلوية وتقدم صيغها الشائعة، (شكل 2-6)، وعينة لكيفية الحساب (مثال 2-8)، كما يظهر الشكل 2-9 جهاز مخبري نموذجي لتحليل المعايرة الحجمية. تحرك عينة مقاسة الحجم في دورق بينما يتم تنقيط محلول معايرة قياسي من سحّاحة مدرجة. يتم تقدير نقطة انتهاء المعايرة إما بواسطة كاشف لوني أضيف إلى العينة أو بواسطة قطب pH زجاجي مع مقياس pH.



شكل 2-9: جهاز معايرة يتضمن سحّاحة مدرجة وحامل ودورق للعينة

يرتبط الاحتياج الأساسي لقياسات القلوية بمعالجة الماء، بالرغم من كونها قياسات روتينية يتضمنها أي تحليل للمياه. ونظراً إلى أن الجير المستخدم في إزالة عسرة الماء والمخثرات المستخدمة في إزالة العكورة تتفاعل مع القلوية، فإنه من الأساسي أن تتم مراقبة القلوية في كل من مياه الصرف الخام والماء المعالجة بهدف التأكد من الجرعة المثالية للمواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة. إن تفاعلات التهدئة لضبط الـــ pH في الأنظمة الحيوية هي نظام ثاني أكسيد الكربون - بيكربونات، لذلك ولتقويم الظروف البيئية تنفذ قياسات القلوية في مياه الصرف وفي الحمأة المهواة.

وتعتبر الحمضية مقياس لثاني أكسيد الكربون ولأحماض أخرى في محلول ما. يتم تحليل الحمضية بواسطة المعايرة بطريقة مشابهة لتلك المستخدمة في تقدير القلوية.

تقع حمضية حمض لاعضوي دون pH 4.5، أما حمضية ثاني أكسيد الكربون (حمض الكربونيك) فتتراوح بين 4.5 وpH 8.3 (شكل2-5ج). تتم معايرة عينة مياه مقاسة الحجم بـــ NaOH 0.02 نظامي بواسطة قيمة الـــ pH العينة حتى الوصول إلى pH 8.3، مع ملاحظة كمية الميليمترات من المادة المعايرة المستخدمة دون قيمة pH البالغة 3.7، وتلك التي تم تحييدها بين 3.7 و8.3. يتم حساب الحمضية التي يعبر عنها تقليدياً بـــ mg/l من $CaCO_3$ بواسطة تطبيق المعادلة 2-34. تقع حمضية برتقالي الميثيل تحت قيمة pH 4.5، بينما تقع حمضية الفينولفثالين في مجال pH يمتد من 3.7 إلى 8.3. والحمضية الإجمالية هي مجموع هاتين القيمتين.

$$\frac{50000 \times \text{مولارية القاعدة} \times (ml) \text{ المُسَحح (مادة معايرة)}}{\text{حجم العيّنة } (ml)} \qquad \textbf{(34-2)}$$

العسرة

تنتج العسرة من كاتيونات معدنية متعددة التكافؤ، وأكثر الكاتيونات وفرة في الماء الطبيعية الكالسيوم والمغنيزيوم. الماء العسرة في تجهيزات الماء السطحية والجوفية تكون أكثر شيوعاً في مناطق تكشفات التشكيلات الجيولوجية المكونة من الحجر الكلسي. وبالرغم من أنها لا ضير من وجودها في الماء المخصصة للاستهلاك البشري إلا أنMg^{++} Ca^{++} ترسبان الصابون وتخفضان فعله التنظيفي، ويتسببان بتشكل قشور من ($CaCO_3$, $Mg(OH)_2$) في الخزانات الرئيسة لتوزيع الماء وفي سخانات الماء الحار. وبالرغم من حلول المنظفات الصناعية وتطور طرق التعامل مع مشاكل القشور، تبقى الإزالة الجزئية لعسرة ماء بالغ العسرة للغاية، أمراً مرغوباً في محطات معالجة ماء البلدات والمدن. يعتبر ماء ذو عسرة دون 50 mg/l، ماءً يسراً، والماء ذو قيم عسرة أقصاها 150 mg/l متوسط العسرة، أما الماء التي تتجاوز فيه القيم 300 mg/l فهو ماءٌ عسرٌ جداً.

إن أكثر الطرق شيوعاً لقياس عسرة الماء هي طريقة المعايرة بالإيثيلين دي أمين تترا أسيتيت (EDTA, Ethylenediaminetetraacetate) يشكل مركب دي صوديوم إيثيلين دي أمين تترا أسيتيت (Na_2 EDTA)، أيونات معقدة ثابتة مع الـ Ca^{++} و Mg^{++} وكاتيونات أخرى متعددة التكافؤ مسببة للعسرة، وبالتالي تجب إزالتها من المحلول. إذا أضيفت كمية قليلة من صبغة أسود الإيريوكروم (Eriochrome Black T)، إلى مياه حاوية على أيونات عسرة لدى قيمة pH تبلغ 10، فسيصبح لون المحلول أحمرَ نبيذياً، وفي غياب أيونات العسرة سيصبح لون المحلول أزرق. يستخدم في إجراءات الاختبار جهاز معايرة مثل الموضح في الشكل 2-9. حيث تُملأ السحّاحة المدرّجة بمحلول EDTA، يُنقّط على عينة مياه مقاسة الحجم حاوية على كاشف لوني. تشكل EDTA المضافة مع أيونات العسرة مركباً معقداً إلى أن تختفي كافة أيونات العسرة من المحلول فيتحول اللون من أحمر نبيذي إلى أزرق، مشيراً إلى انتهاء تفاعل المعايرة، معادلة 2-35



$$Ca^{++} + Mg^{++} + EDTA \xrightarrow{pH=10} Ca{\cdot}EDTA + Mg{\cdot}EDTA \qquad \textbf{(35-2)}$$

ويعبر عن العسرة تقليدياً بوحدات mg/l من $CaCO_3$ وتحسب من البيانات المخبرية بالمعادلة التالية:

العسرة كـ $CaCO_3$ مقاسة بـ (mg/l) =

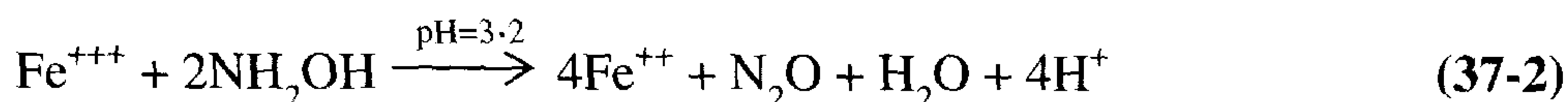
$$\frac{\text{مادة معايرة (ml)} \times CaCO_3 \text{ مكافئ } EDTA \times 1000}{\text{العينة (ml)}} \qquad \textbf{(36-2)}$$

الحديد والمنغنيز

يلقى هذان العنصران معارضةً شديدة حتى ولو كانا بتراكيز قليلة في التجهيز بالماء، سواءً كان ذلك للاستخدام المنزلي أو الصناعي. إذ يمكن لآثار من الحديد والمنغنيز التسبب بتبقع مكونات الحمامات ومن تلطخ الملابس المغسولة بلون بني، كما تؤثر في طعم الماء. ويمكن للمياه الجوفية الخالية من الأكسجين المذاب أن تحوي

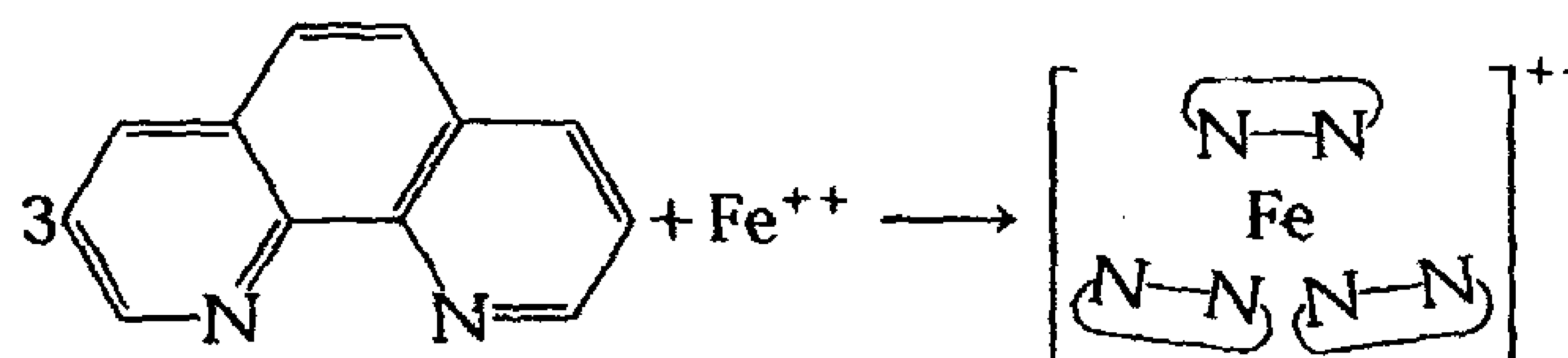
كميات معتبرة من أيونات الحديدوز(Fe^{++}) والمنغنيز(Mn^{++}) وهما صيغتان ذائبتان (غير مرئيتان). وعندما تتعرضان للأكسدة تتحولان إلى أيونات ثابتة غير مذابة هما الحديديك (Fe^{+++}) والمانغانيك (Mn^{++++}) معطيةً للمياه لوناً صدئياً. ويمكن للتجهيز بالماء المسحوب من مياه عميقة لاهوائية لحامل مائي أو من أنهار تخترق تشكيلات طبيعية لصخور حاوية على الحديد والمنغنيز من أن يحوي كلتا الصيغتين المرجعة والمؤكسدة، حيث تكون هذه الأخيرة مرتبطة بروابط معقدة مع المادة العضوية. تعتمد أكثر الطرق شيوعاً لتقدير الحديد والمنغنيز في الماء على الطرق اللونية. إن تطور اللون كتقنية اختبار يتمتع بأفضلية رئيسة تكمن في أنها دقيقة للغاية في تحديد الحديد الموجود في العينة، وعموماً بالحد الأدنى للإعدادات المسبقة لعينة الماء قبل التحليل. يستخدم مقياس ضوئي كهربائي لتقدير اللون أو مقياس الطيف الضوئي لقياس شدة اللون المتطور في العينة المعالجة، والتي يمكن ربطها مع تركيز الحديد والمنغنيز.

وتفضل طريقة فينانثرولين (Phenanthroline) لقياس الحديد في الماء. والخطوة الأولى فيها تقوم على التأكد من أن كل الحديد في العينة بحالة حديدوز وذلك عبر معالجة العينة بحمض كلور الماء (هيدروكلوريك) ووجود الهيدروكسيل أمين كمادة مرجعة وفق التفاعل الآتي:



$$Fe^{+++} + 2NH_2OH \xrightarrow{pH=3\cdot2} 4Fe^{++} + N_2O + H_2O + 4H^+ \quad \textbf{(37-2)}$$

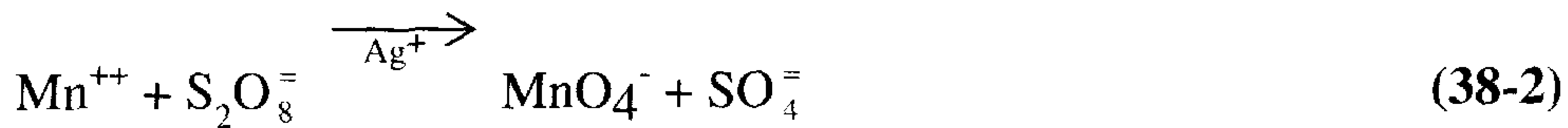
تقوم جزيئات فينانثرولين عددها يتراوح بين 1 – 10 بعزل كل ذرة من ذرات الحديديك لتشكل معقد لونه برتقالي محمر.



1,10– فينانثرولين(Phenanthroline)   معقد أحمر برتقالي

يستخدم مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) لحزمة ضوء أحادية اللون طول موجتها 510 نانومتر. وذلك لقياس امتزاز المحلول الملون. يتم تحديد تركيز الحديد في العينة من النسبة المئوية للنفاذية مقابل منحني معايرة لتركيز الحديد يتم إعداده من سلسلة من محاليل حديد قياسية اختبرت مسبقاً.

ويتم تحديد المنغنيز بطريقة لونية أيضاً هي طريقة البيركبريتات (Persulfate). يتم تجاوز تداخل الكلور عبر إضافة كبريتات الزئبق ليشكل مركباً غير ذواب نسبياً هو $HgCl_2$. بعد ذلك يتحول كل المنغنيز في العينة إلى برمنغنات بواسطة البيركبريتات بوجود الفضة كحفّاز (Catalyst).



$$Mn^{++} + S_2O_8^{=} \xrightarrow{Ag^+} MnO_4^- + SO_4^{=} \quad (38\text{-}2)$$

يمثّل تركيز أيون البرمنغنات الناتجة واللون الناتج منها كمية المنغنيز في العينة.

القياسات اللونية

يستخدم مقياس اللون (Colorimeter) ومقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) لقياس شدة اللون في الاختبارات الكيميائية لمتحولات (بارامترات Parameters) الماء. يظهر الشكل 2-10 مقياس لوني محمول مع خليتي عينات ذا مصدر ضوء داخلي مع حجيرة لإدخال العينة ومنتخب أوتوماتيكي لطول الموجة وأنبوب ضوئي لقياس كثافة الضوء المار عبر العينة. وهذا النموذج الخاص مزود بخطوات عمل مبرمجة مسبقاً وبانتخاب أوتوماتيكي لطول الموجة. بينما يسمح تشغيل الجهاز المبسط بالتعامل بانتخاب البرنامج عبر ضغط زر وبتوجيه إجراءات الاختبار خطوة – خطوة. تظهر شاشة العرض تركيز المتحول المقاس، والامتزاز (Absorbance) والنسبة المئوية للنفاذية (Transmittance).



شكل 2-10: مقياس لوني محمول مع خلايا عينات لاختبار متحولات في الماء والتي يمكن قياس تراكيزها كمياً من خلال كثافة اللون في عينة الماء بعد معالجتها بالكواشف المحددة، (موافقة **Hack Co Loveland, Co**)

إضافةً إلى تقدير الحديد والمنغنيز فإن متحولات الماء العادية التي يتم تقديرها باختبارات المقياس اللوني تتضمن العسرة، والأكسجين المذاب، ومتبقي الكلور. يتم تحضير عينة الماء بإضافة كواشف لإحداث لون محدد ذي كثافة مرتبطة بتركيز المادة المختبرة. تدخل خلية العينة في المقياس اللون بحيث تمر حزمة الضوء وحيد اللون للطول الموجي المختار عبر خلية العينة ويتم القياس بواسطة أنبوب ضوئي، تعرض النتائج على شاشة المقياس اللوني وتحفظ إلكترونياً.

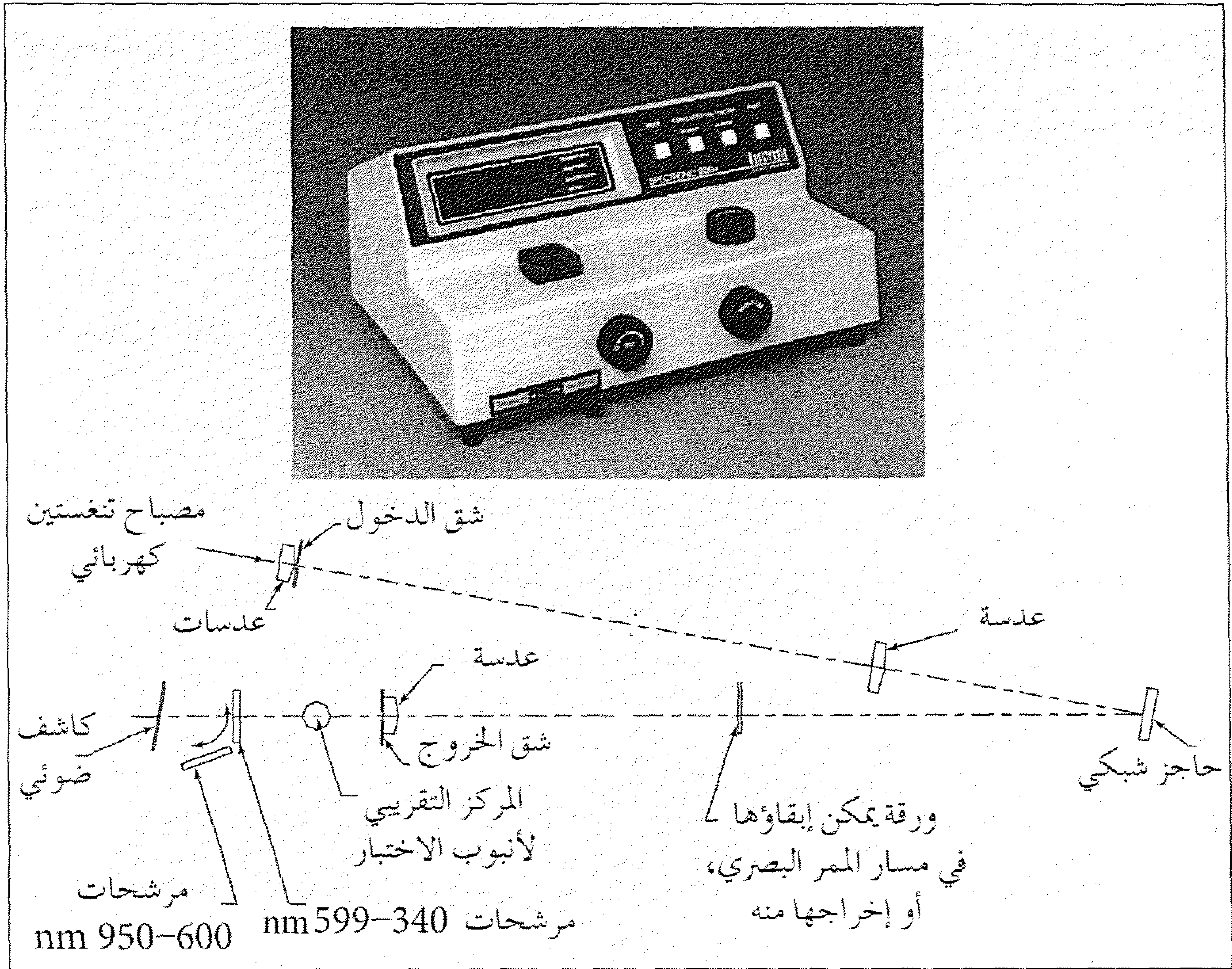
إن أكثر الأجهزة المخبرية شيوعاً في القياسات اللونية هو مقياس الطيف اللوني. ويعمل هذا الجهاز بطريقة مشابهة للمقياس اللوني، غير أن الضوء وحيد

اللون يصدر من قبل نظام بصري يسمح باختيار أي لون في مجال الطيف المرئي بدقة كبيرة. يظهر الشكل 2-11 صورة لمقياس الطيف اللوني ورسم تخطيطي للنظام البصري.

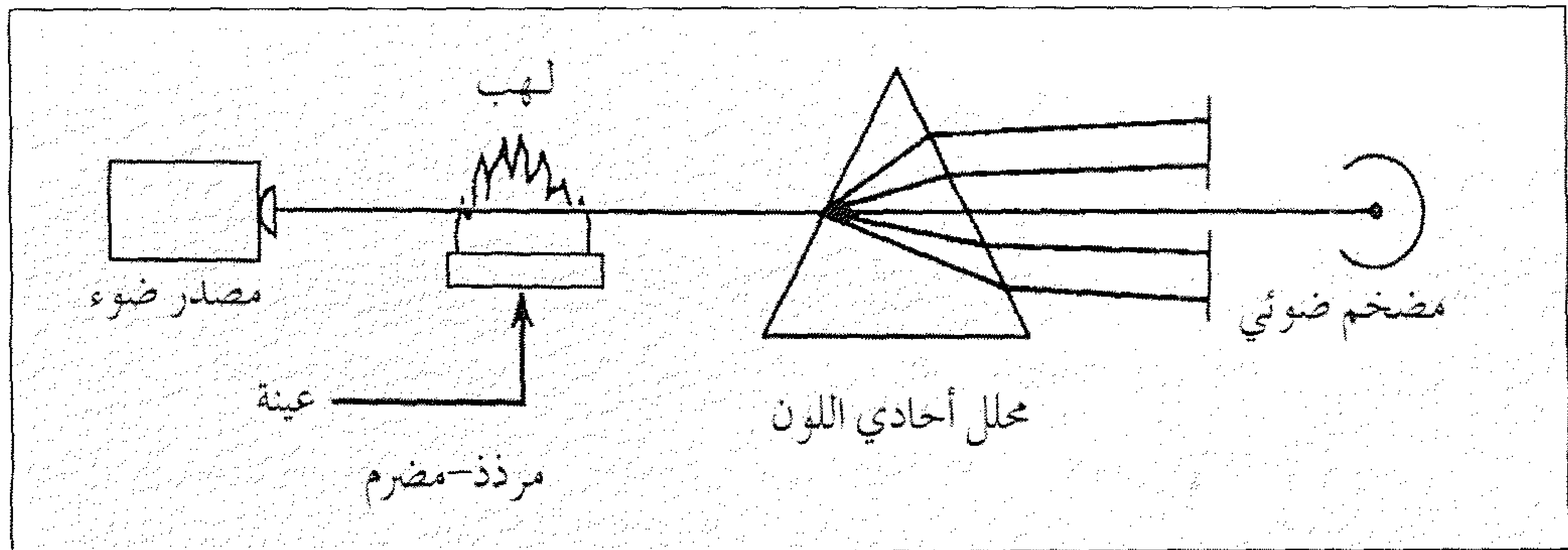
معادن الأثر (معادن الندرة)

تُكشف معادن الأثر السامّة المحددة في مياه الشرب ومعادن أخرى شائعة كالكالسيوم والصوديوم بمقياس طيف الامتصاص الذري. يتم تقدير تركيز عنصر ما في المحلول عبر قياس كمية الضوء ذي طول موجي محدد، تم امتصاصه من قبل ذرات عنصر تم تحريره في اللهب. وكما هو موضح في الشكل 2-12 يتكون مقياس طيف الامتصاص الذري من مرذّذ- مُضرم (Atomizer-Burner) لتحويل العنصر في المحلول إلى ذرات عنصر في لهب أستيلين-هواء، ومحلل أحادي اللون (Monochromator) (موشور مع شق) لتحليل الطيف وعزل أمواج الضوء المنبثقة، ومضخم ضوئي (Photomultiplier) لكشف وتضخيم الضوء المار عبر المحلل الأحادي اللون. ومصدر الضوء هو مصباح كهربائي مع مهبط مكون من العنصر نفسه المراد تقديره، ونظراً إلى تمتع كل عنصر بأطوال موجية مميزة يتم امتصاصها. يُعزل الضوء المار عبر العينة بواسطة المحلل أحادي اللون ليدخل في المكون الأساسي لطول الموجة الخاص به.

يستقبل المضخم الضوئي فقط أطوال أمواج الاستجابة التي تم عزلها، إضافة إلى أي جزء من ضوئه امتصت من قبل ذرات العينة. وبعد إدخال المصباح الكهربائي المناسب، تُقاس كثافة اللهب المار عبر اللهب غير المقيد. تدخل العينة ضمن اللهب ويتم تقدير تركيز العنصر في العينة عبر تناقص كثافة اللهب.



شكل 2-11: مقياس الطيف اللوني ومخطط النظام البصري (موافقة Milton Roy Company, Rochester, NY, a subsidiary of Sundstrand Corporation)



شكل 2-12: شكل تخطيطي مبسط لمقياس طيف الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectrophotometer)

اللون

تدرجات الألوان في الماء قد تكون ناتجةً من فلزات طبيعية كالحديد والمنغنيز، أو يكون منشأها نبات أو مواد دبالية أو أصبغة أو نفايات ملونة تطرحها صناعات متعددة، بما فيها الصناعات التعدينية، وتكرير النفط، والصناعات التحويلية وصناعة الورق وعجينة الورق والصناعات الكيميائية والغذائية. واللون الحقيقي هو فقط اللون الذي يُعزى إلى وجود مواد في المحلول بعد إزالة كل المواد المعلقة بالقوة النابذة أو بالترشيح. وفي الماء المخصصة للاستخدام المحلي العام يعتبر اللون غير مرغوب من الناحية الجمالية، كما إنه يعتم لون الملابس أو يبقع تركيبات استخدام الماء في المنازل. إن القيود الصارمة على اللون ضرورية في ما يتعلق باستخدام الماء في الكثير من الصناعات وإنتاج المرطبات ومعالجة الأغذية ومشتقات الألبان وصناعة الورق والنسيج.

تتكون سوائل ألوان قياسية من كلورو بلاتينات البوتاسيوم (K_2PtCl_6) مصبوغة بكميات ضئيلة من كلور الكوبالت. ويعتبر اللون الناتج من مزج 1 mg/l من البلاتين مع 0.5 mg/l من الكوبالت المعدني كواحدة لوني قياسي قدرها 1. إن التدرج اللوني البني المصفر الناتج من مثل هذه المعادن مشابه لذاك الذي يُصادف في الماء الطبيعية. ستستخدم المقارنة بالأنابيب الحاوية على محاليل بلاتين-كوبالت قياسية ذات قيم لونية تتراوح بين 0 و70 وحدة لون، في القياسات البصرية، غير أنه في الأغلب يوجد في المختبرات مقياس لوني للحصول على قراءات.

العكورة

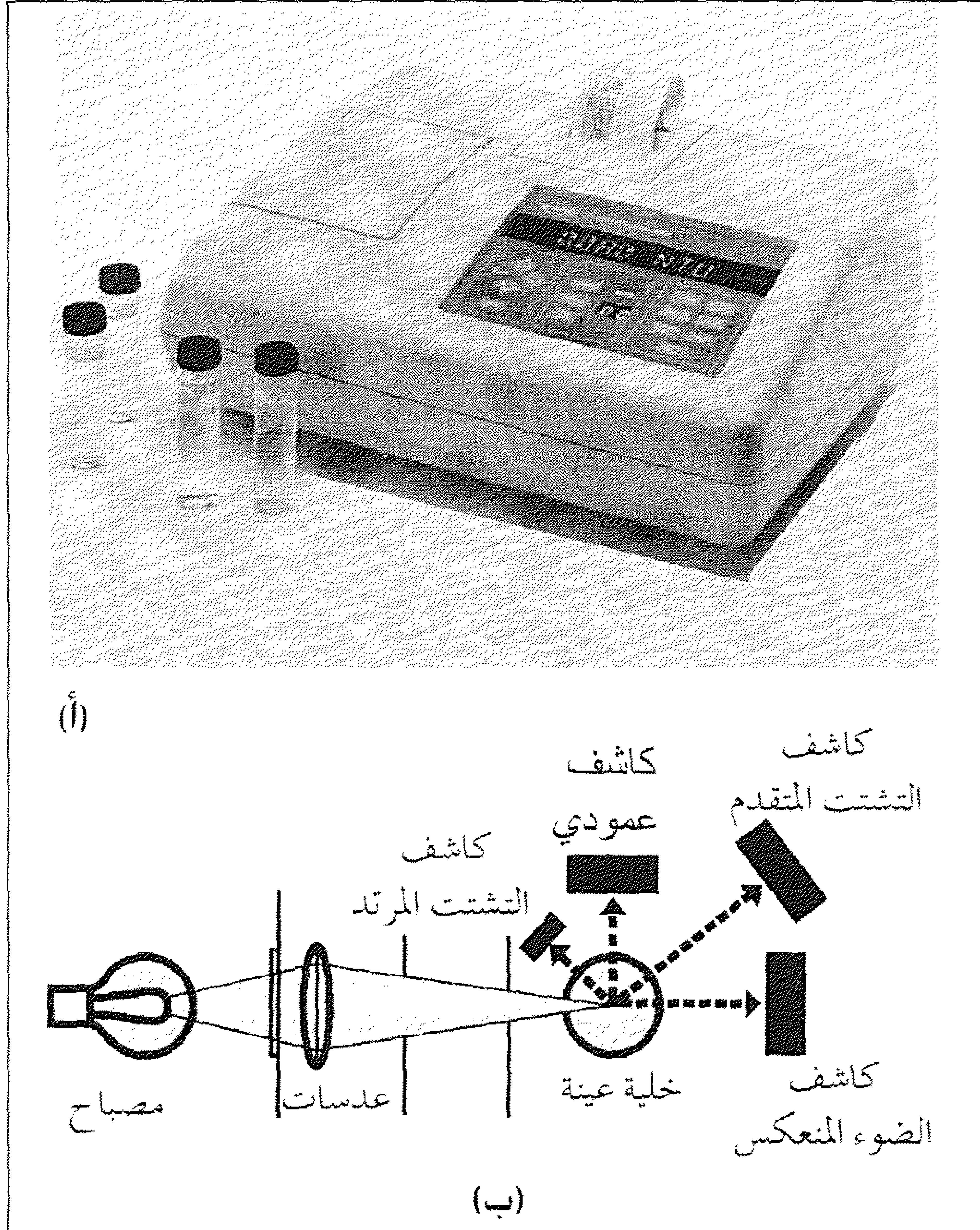
تعيق جسيمات غير مذابة من التربة والمواد العضوية والعضويات الدقيقة ومواد أخرى، مرور الضوء عبر الماء عبر تشتيت الضوء وامتصاص الأشعة. ويدعى تداخل مرور الضوء عبر الماء بالعكورة. ويمكن تلمّس ذلك بالملاحظة

البصرية إذا تعدت قيمة 5 لوحدات اللون. وتبلغ عكورة مياه بحيرة صافية 25 وحدة بينما تتجاوز عكورة الماء الموحل 100 وحدة. وأقدم الطرق لتقدير العكورة هي مقياس عكورة شمعة جاكسون، حيث يتم النظر عبر عمود من الماء موجود في أنبوب زجاجي مدرج إلى لهب شمعة. ويعبر عن وحدات هذه الجهاز بوحدات عكورة جاكسون (JTU). وحيث أن أدنى قيمة عكورة يمكن قياسها بهذه التقنية تبلغ 25 وحدة، يقتصر استخدام مقياس عكورة شمعة جاكسون على الماء العكر.

وقياس العكورة في ماء الشرب المعالَجة والذي يكون عادة أقل من 1، قد تم باستخدام مقياس عكورة تجاري معاير مسبقاً (نيفيلوميتر). إن وحدات العكورة باستخدام نيفيلوميتر يعبر عنها بوحدات عكورة نيفيلوميترية (NTU). ويمكن لمقياس العكورة الذي يبدو في الشكل 2-13 قياس العكورة في وضعية (من دون نسبة) لقيم تتراوح بين 40 و10.000 (NTU) وبوضعية (النسبة) لقيم أقل من 1 (NTU) وما دون ذلك وصولاً إلى الصفر.

تتم مركزة مصباح كهربائي ذي سلك تنغستين ليمر ضوءه عبر العينة المائية. تستقبل كواشف الضوء النافذ والمشتت الضوء المار عبر العينة. تقيس كواشف الضوء المرتد المشتت، كمية الضوء المشتت المرتد تجاه مصدر الضوء. تستقبل هذه الكواشف الضوء المشتت نتيجة وجود جسيمات في الماء ويصنع مع حزمة الضوء زاوية 90°. وفي وضعية (من دون نسبة) المستخدمة عندما تكون العكورة متوسطة إلى عالية فإن قياس العكورة هو في الواقع الضوء المستقبل من قبل كواشف الضوء المشتت المرتد بزاوية 90°. ويتم دمج كواشف الضوء المشتت المرتد للسماح بقياس عكورة عالية جداً. وفي وضعية (النسبة) عندما تكون العكورة منخفضة، يكون التبعثر المتجه إلى الأمام مهملاً مقارنة بالضوء النافذ، ويكون قياس العكورة هو نسبة الضوء المرتد والمتبعثر بزاوية 90° إلى الضوء النافذ. توفّر

وضعية (النسبة) ثبات المعايرة والخطية عبر مجال واسع للعكورة، كما تلغي تأثير اللون في عينة الماء.

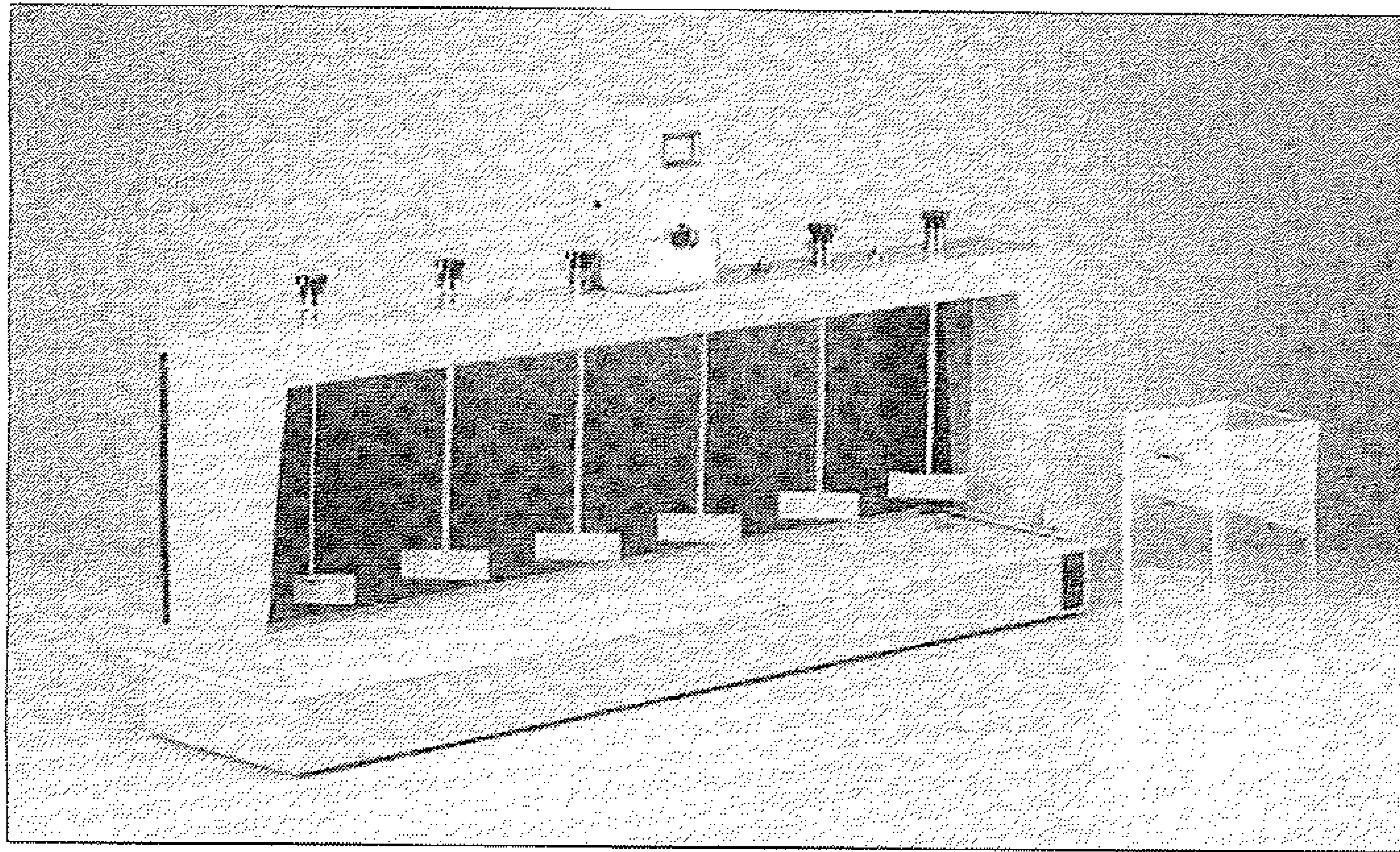


شكل 2-13: مقياس عكورة (نيفيلوميتر) وخطط مسار الضوء (موافقة Hack Co Loveland, Co.)

اختبارات الارتجاج

يمكن تقويم فاعلية التخثر الكيميائي للمياه أو لمياه الصرف تجريبياً في المخبر باستخدام أداة مزج كتلك الموضحة في الشكل 2-14. يتكون المازج من ستة مجاديف تمكّن من تشغيله بسرعات مزج مختلفة تتراوح من 5 إلى 300 (rpm). ولإجراء الاختبارات، يوضع لتر أو أكثر من الماء في كل من الحاويات مربعة المقطع ويضاف إليها كميات مختلفة من المخثر. وبعد المزج السريع لبعثرة المادة

الكيميائية، تمزج العينات ببطء لتشكيل الخثرات ثم تترك لتستقر تحت ظروف هادئة. تمزج العينات بسرعة (rpm) 60 إلى 80 لمدة دقيقة واحدة بعد إضافة محلول المخثر ثم تمزج بسرعة (rpm) 30 لمدة 15 min. يمكن تشغيل المازج على نحو متتالٍ عبر سلسلة مبرمجة من سرعات المجاديف وفترات زمنية. ويحتفظ الجهاز بالمعلومات المبرمج هذه ولو فُصل عن مصدر الطاقة الكهربائية، ما يسمح بتكرار التجارب يوماً إثر يوم. بعد توقف المازج، تلاحَظ طبيعة وخصائص الخثرة وتدوَّن بمصطلحات وصفية مثل: ضعيف، لابأس، جيد وممتاز. تدل عينة ضبابية على تخثر ضعيف، بينما يحوي الماء المتخثر بشكل مناسب وجيد على خثرات تشكلت على نحو جيد، ويكون السائل بين الجسيمات صافياً.



شكل 2-14: أداة مزج تستخدم في اختبارات الإرتجاج للتخثر الكيميائي مع مخارج لسحب العينات من المازج (موافقة Phipps & Bird Inc)

إن الجرعة الأصغرية التي تؤمن إزالة جيدة للعكورة خلال اختبارات الارتجاج تعتبر الجرعة الاختبارية الأولى في تشغيل محطة المعالجة. وفي الواقع فإن معالجة على مقياس واسع في كامل المحطة تعطي نتائجاً أفضل من تلك المنفذة في اختبارات الارتجاج لدى استخدام الجرعة نفسها من المخثرات. فعلى سبيل المثال يظهر الجدول 2-10 النتائج التي تم التوصل إليها بتطبيق اختبارات الارتجاج

لتخثير مياه نهر عكر باستخدام الشبّة. إن الجرعة الأصغرية التي يوصى بها لمعالجة هذه الماء تبلغ 40 mg/l من المخثر. ونظراً إلى أن العوامل الأخرى كدرجة الحرارة والقلوية والـ pH تؤثر أيضاً في التخثر، فإنه يمكننا إجراء هذا الاختبار لتقدير هذه المتحولات ولتقدير الجرعة المثالية تحت ظروف مختلفة.

جدول 2-10: نتائج اختبارات الارتجاج للتخثّر

عدد الارتجاجات	الألمنيوم (ML/JAR)	كبريتات (MG/L)	الجرعة (GPG)	تشكيلة الرواسب
1	1	10	0.85	لا رواسب
2	2	20	1.17	دخانية
3	3	30	1.85	لا بأس بها
4	4	40	2.34	جيدة
5	5	50	2.92	جيدة
6	6	60	3.50	ثقيلة

الفلور

يتسبب وجود فائض من أيون الفلور في مياه الشرب بفلورة الأسنان وتراجع اللثة. بينما تعاني المجتمعات التي لا تحتوي مياه الشرب المتوفّر لديها على الفلور، حالات إصابة كثيرة بنخر الأسنان. والتراكيز المثالية للفلور في التجهيزات العامة بمياه الشرب الواقعة بين 0.8 mg/l و 1.2 mg/l عموماً تخفف من نخر الأسنان إلى حد أصغري دون أن تتسبب بفلورة ذات شأن للأسنان. وهناك عدد من مركبات الفلور (جدول 2-3) يمكن إضافة أحدها لمعالجة مياه المدن تتفكك جميعها بسرعة لتعطي أيون الفلور.

إن طريقة القطب الكهربائي (Electrode) والطريقة اللونية (Colorimetric) تعتبران حالياً أكثر الطرق قبولاً لتقدير تركيز أيون الفلور. وكلتا الطريقتين عرضة لتداخل مواد، كالكلور (في الطريقة اللونية) وكالكاتيونات متعددة التكافؤ مثل Al^{+++}، والتي تتسبب بإعاقة معقد أيون الفلور عن الاستجابة للقطب. يمكن فصل الفلور عن باقي المكونات الأخرى في الماء، وذلك عبر فلترة حمض الهيدروفلوريك، وذلك بعد تحميض العينة بحمض الكبريتيك. يتم فصل الفلور عبر معالجة مسبقة باستخدام جهاز تقطير. بينما يتم تحليل العينات التي لا تحتوي على كميات معتبرة من الأيونات المتداخلة بشكل مباشر.

إن قطب نشاط أيون الفلور هو جهاز ذو مستشعر محدد للأيون مصمم للاستخدام مع قطب كالوميل مرجعي وجهاز قياس pH مزود بمقياس ميلي فولت. إن بلورة فلور لانتانيوم مفردة ليزرية النمط هي العنصر الرئيس في قطب الفلور، يتشكل عبرها فرق كمون نتيجة وجود أيونات الفلور. يمس أحد وجوه البلورة محلول العينة بينما يمس وجهها الآخر محلولاً مرجعياً داخلياً. يجب تطوير منحني معايرة مناسب يربط بين قراءات الجهاز بالميلي فولت وتركيز الفلور. تعتمد نشاطات الفلور على القوة الأيونية الكلية للعينة ولا يستجيب القطب الكهربائي للفلوريد المرتبط مع عنصر آخر أو بمعقد. ويمكن التغلب على هذه الصعوبات بإضافة محلول CDTA (حمض سيكلوهيكسيلين ديامين تترا أسيتيك) (Cyclohexylenediaminetetraacetic) ، والذي هو محلول منظم ذو قوة أيونية إجمالية عالية كافية لتسوية التغيرات في القوة الأيونية للعينة. تستند الطريقة اللونية على التفاعل بين الفلور وقرمزي صبغة الزركونيوم (Zirconium-dye Lake)، (يشير مصطلح قرمزي إلى اللون الناتج من إضافة أيون الزركونيوم إلى صبغة سباندز (SPADNS). يتفاعل الفلوريد مع قرمزي صبغة اللون الأحمر مفككاً جزءاً منها إلى أنيون معقد عديم اللون ($ZrF_6^{=}$) وصبغة صفراء اللون. وبازدياد كمية الفلور يغدو اللون تدريجياً أفتح بدرجات مختلفة. إن تأثير التبييض هذا يتناسب طرداً مع تركيز أيون الفلور. ويمكن استخدام أي من مقياس الطيف الضوئي

(شكل 2-11) أو المقياس اللوني (شكل 2-12) لقياس امتصاص العينة لمقارنتها بمنحني قياسي.

الكلور

الكلورة هي أكثر الطرق شيوعاً في تعقيم الماء في الولايات المتحدة، ولكونها عامل أكسدة قوي تستخدم أيضاً بشكل مؤثّر في ضبط الطعم والرائحة وفي إزالة الحديد والمنغنيز من التجهيزات بالماء.

يتحد الكلور مع الماء ليشكل حمض الهيبوكلوروز (Hypochlorous Acid) وحمض الهيدروكلوريك (Hydrochloric Acid)، معادلة 2-27. يتفاعل حمض الهيبوكلوروز مع الأمونيا في الماء ليعطي مونوكلورأمين (NH_2Cl) وديكلورأمين ($NHCl_2$) وتريكلورأمين (NCl_3) تبعاً للكميات النسبية للحمض وللأمونيا. إن أيونات الكلور وحمض الهيبوكلوروز والهيبوكلوريت هي متبقيات كلور حر بينما يشير الكلورأمين إلى متبقيات كلور مرتبط بعناصر أخرى.

يميز اختبار *N, N* دي إيثيل–P فينيلين دي أمين (N,N-diethyl-p-Phenylenediamine) (DPD) بين متبقيات الكلور الحر والكلور المرتبط، ويقيس كمياتهما في عينات الماء الصافي. وبوجود أيون اليود يتفاعل الكلور الحر المتاح فوراً مع كاشف DPD معطياً لوناً أحمر. تتفاعل الإضافات اللحقة من أيون اليود بشكل حفازي مع المونوكلورأمين معطياً لوناً. يتسبب اليود الفائض برد فعل سريع من قبل الدي كلورأمين. ويمكن قياس كثافة تغير اللون والتي تتناسب طرداً مع كمية الكلور المتبقي، إما بالمعايرة بكبريتات أمونيوم الحديدوز (FAS) أو باستخدام مقياس الطيف الضوئي لطول موجة قدرها 515 نانومتر أو بمقياس ألوان ضوئي كهربائي مع استخدام فلتر ذي نفاذية قصوى في مجال 490–530 نانومتر.

إن خطوات طريقة المقياس اللوني هي الآتية: (1) تخفف العينة بمياه خالية من الكلور (2) إذا كان الكلور المتاح في العينة أكثر من 4 mg/l، لمتبقيات الكلور الحر

يمزج محلول فوسفاتي محلول منظم ومحلول كاشف DPD مع الماء وسيتم ملاحظة تغير اللون فوراً وتسجل كقراءة (أ). (3) لتقدير المونوكلورأمين، تضاف بلورة واحدة من KI وتمزج العينة، وسيتم مرة أخرى ملاحظة كثافة اللون وتسجل كقراءة (ب). (4) ومن أجل الديكلورأمين، تذاب بلورات إضافية من KI في العينة. وبعد حوالى دقيقتين تقاس الكثافة النهائية للون وتسجل كقراءة (ج). تفسر قراءات اللون كالآتي: (أ): متبقيات الكلور الحر، (ب) - (أ): مونوكلورأمين (NH_2Cl)، (ج) - (ب): دي كلورأمين ($NHCl_2$)، (ج) - (أ): متبقيات الكلور المرتبط، (ج): متبقيات الكلور الكلي.

يمكن للمقياس اللوني المحمول الموضح في الشكل 2-15 قياس متبقيات الكلور الحر والكلي في الماء الصافية بواسطة طريقة DPD، ويتمتع بمعايرة مبرمجة مسبقاً وبإمكانية عرض النتائج رقمياً. إن علبة الاختبار الحاوية على قرص ألوان، والتي تتطلب مقارنة بصرية لكثافة اللون في العينة المعالجة لا تتمتع بدقة كافية لقياس الكلور المتبقي في مياه الشرب. ويستخدم هذا الجهاز عادة لمراقبة المتبقيات في مياه برك السباحة.

لا يمكن تقدير الكلور المتبقي على نحو موثوق في عينـــات ميـــاه الـــصرف بواسطة تقانة DPD بسبب التداخل مع المادة العضوية. إن الخطوات غير المباشرة لطريقة قياس اليود أعلى دقة بكثير. ويتم تحضير عينة من مياه الصرف بإضـــافة حجم مقاس من أكسيد فينيل أرســين قياســي (Phenylarsine Oxide)، أو محلــول ثيوكبريتات، مع وفرة من أيوديد البوتاسيوم ومحلول خلاّت (أسيتات) منظم وذلــك لخفض قيمة الـــ pH لجعلها بين 3.5 و4.2. يؤكسد متبقي الكلور مقداراً مكافئاً مـــن فائض أيون الأيوديد ليصبح يود حر والذي بدوره يتحول من فوره إلى أيوديد مرة أخرى بمقدار يتناسب مع وجود العامل المرجع. يقاس من ثم متبقي أكــسيد فينيــل أرسين عبر المعايرة بمحلول يود قياسي. وبكلمات أخرى، يعكس هذا التفاعل نقطة النهاية عبر تقدير كمية أكسيد فينيل أرسين القياسي التي لم تتفاعــل فـــي العينـــة المعالجَة وذلك باستخدام اليود القياسي لا عن طريـــق المعـــايرة المباشـــرة لليـــود

المتحرر بواسطة الكلور. وبذلك يتم تجنب التماس بين كامل تركيز اليود المتحـــرر ومياه الصرف. ويستدل على بلوغ نقطة نهاية المعايرة باســتخدام النــشاء والــذي يعطي لوناً أزرق بوجود اليود الحر.

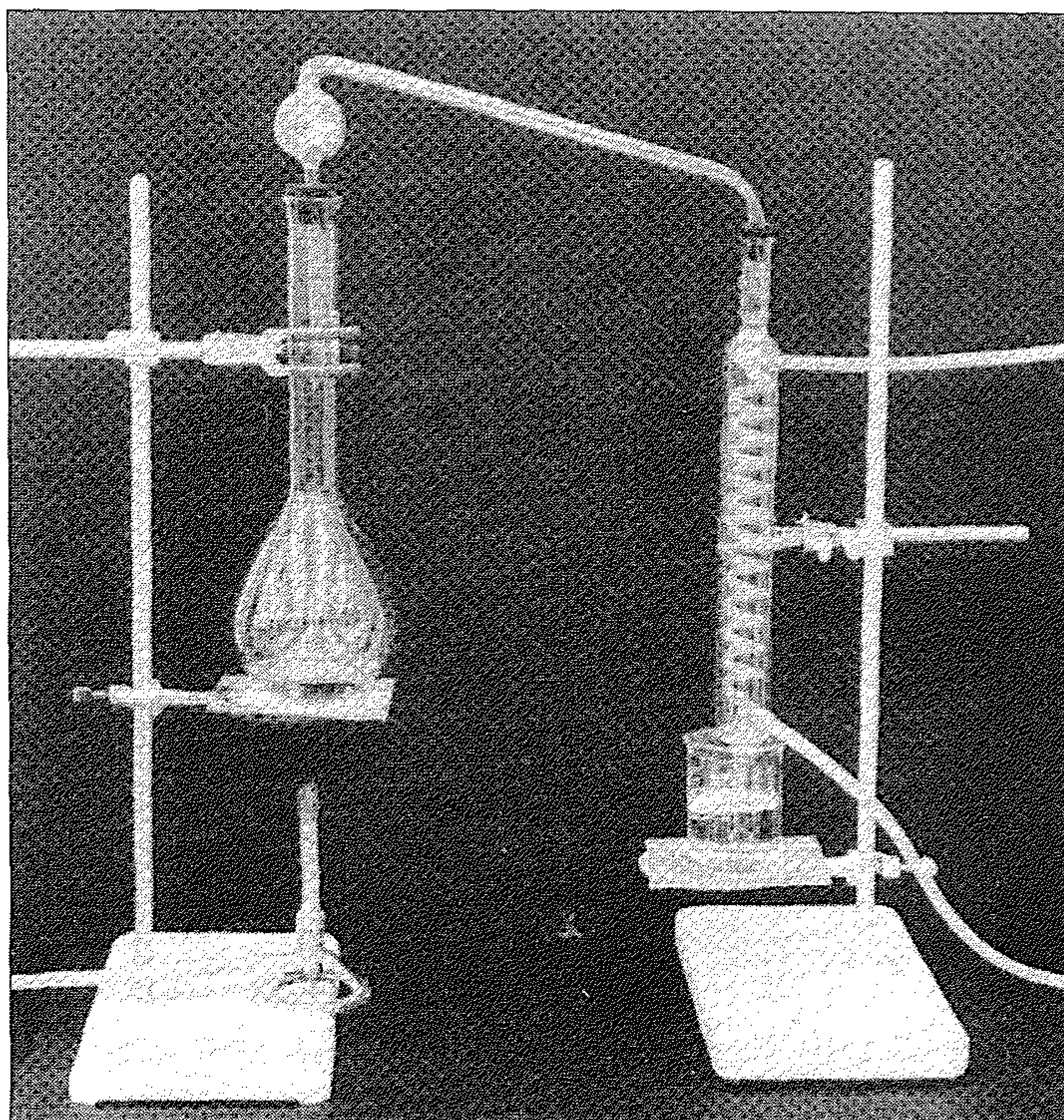


شكل 2-15: مقياس لوني يعمل على البطارية لقياس متبقيات الكلور الحر والكلي في عينات مياه صاف بواسطة طريقة DPD (موافقة Hack Co Loveland, Co)

النتروجين

الصيغ الشائعة للنتروجين هي نتروجين عضوي، وأمونيا ونترات ونتريت ونتروجين غازي. إن المادة العضوية النتروجينية كالبروتينات أساسيّة للأنظمة الحية. وتختبر مياه الصرف الصناعي في الأغلب للتأكد من محتوى النتروجين والفوسفور لضمان وجود مواد مغذة كافية للمعالجة الحيوية. ويستخدم النتروجين العضوي والذي يوجد بشكلٍ أساسي في صيغة أمونيا ونترات، من قبل النباتات الخضراء في عملية التركيب الضوئي. ونظراً إلى محدودية وجود النتروجين في الماء الطبيعية، فإن التلوّث من النفايات النتروجينية يمكن أن يشجع نمو الطحالب

وانتشار الماء المخضرة اللون. وتعتبر الأمونيا ملوثاً مائياً جدّياً نتيجة تأثيرها السمّي في الأسماك.



شكل 2-16: جهاز تقطير لاختبارات الأمونيا والنتروجين العضوي

إن اختبار نتروجين الأمونيا هو تقطير الماء باستخدام جهاز كالموضح في الشكل 2-16. وتعتمد خطوات التحليل على إزاحة التوازن بين أيون الأمونيوم والأمونيا الحرة وتحرير أمونيا غازية ترافق البخار الناتج من غليان الماء. وبعد وضع العينة في دورق مخروطي، يضاف محلول منظم لرفع الـــ pH وإزاحة التوازن نحو اليمين (معادلة 2-39).



$$NH_4^+ \underset{\text{حامضي}}{\overset{\text{قاعدي}}{\rightleftharpoons}} NH_3\uparrow + H^+ \qquad \textbf{(39-2)}$$

يُضاف من ثم مكثف إلى الدورق ويُقطر المزيج لإبعاد البخار والأمونيا الحرة. يكثف البخار الحاوي على الأمونيا ويُجمع في محلول حمض البوريك. نتيجة

التفاعل مع حمض البوريك تتشكل أيونات أمونيوم، معادلة 2-39 متجهة إلى اليسار، في أثناء إنتاج أيونات البورات اعتباراً من الحمض. تقدَّر كمية الأمونيا في العينة عبر تقدير استهلاك حمض البوريك في بيكر الجمع. وقد يقاس ذلك عبر معايرة تراجعية للمحلول مع حمض قياسي لتقدير كمية أيونات البورات الناتجة. ويقدر النتروجين في مياه الصرف عبر هضم المادة العضوية وبالتالي تحرير الأمونيا، ثم المتابعة من خلال اختبار نتروجين الأمونيا. ونظراً إلى أن معظم النتروجين العضوي موجود بصيغة بروتينات وأحماض أمينية، فإن تحويله إلى أيون أمونيوم ممكن وذلك عبر غليه في محلول حمضي بوجود حفازات كيميائية (معادلة 2−40).



عندما يضاف حمض أولاً إلى عينة مياه صرف، تتحول المادة العضوية إلى اللون الأسود. ويستدل على التفكك الكلي والتحول بعد مضي ساعة إلى ساعتين من الغلي من خلال صفاء السائل. وبالتبريد يضاف كاشف هيدروكسيد الصوديوم وذلك لرفع الـــ pH وتحويل أيون الأمونيوم إلى أمونيا. يثبت الدورق المخروطي بحلقة الربط في المكثف وينتهي التفاعل بالتقطير لقياس نتروجين الأمونيا. وإذا كان مطلوباً تقدير كل من نتروجين الأمونيا والنتروجين العضوي، فإنه يمكن تقدير نتروجين الأمونيا أولاً، ومن ثم تهضم العينة لتقدير النتروجين العضوي. ويشار في الأغلب إلى مجموع هاتين النتيجتين نتروجين كيلدال الكلي (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)، فإن لم يكن مطلوباً فصل النتروجين العضوي عن نتروجين الأمونيا، فإنه يمكن تقدير نتروجين كيلدال الكلي مباشرة عبر هضم كامل العينة ثم تقطير نتروجين الأمونيا الموجود أساساً في العينة والنتروجين المتحرر نتيجة هضم النتروجين العضوي.

يتم تقدير النتريت والنترات في الماء الطبيعية والمعالجة بشكل روتيني بتقنيات القياس اللونية. يتم تقدير النتريت عبر تشكل الصبغة الآزوتية البنفسجية المحمرة لدى قيمة pH 2.0 إلى pH 2.5 وذلك بارتباط حمض سولفانيليك ديازوتيزد (Diazotized Sulfanilic Acid) مع NED ديهيدركلوريد (Dihydrochioride)، فإن كانت العينة عكرة فيتوجب إزالة المواد العالقة عبر الفلترة بواسطة غشاء ذي فتحة مسامات قدرها 0.45 ميكرون. يمكن تقدير كثافة تغير اللون عبر قياس ضوئي للمقارنة البصرية مع مقاييس لونية معدة في أنابيب نيسلر.

يقدر تركيز النترات بطريقة اختزال الكادميوم. ويرجع NO_3^- كمياً تقريباً إلى NO_2^- بوجود الكادميوم. وبعد إزالة العكورة وضبط الـ pH، يتم الاختزال بصب العينة عبر مخبار ارتفاعه 30 سم مملوء بحُبيبات Cd المتوفّر تجارياً والمعالج بكبريتات النحاس $CuSO_4$ لتشكل غلافاً من النحاس. يتم تقدير النتريت الناتج عن عملية الاختزال إضافة إلى أي نتريت كان موجوداً في العينة الأصلية، عبر إزالة النتروجين بواسطة سولفانيل أميد (Sulfanilamide) وربطه مع N- (1-نفتيل)- إيثيلين دي أميد ليشكل صبغة نتروجينية كثيفة اللون. ويتم قياس الكثافة اللونية باستخدام المقياس اللوني أو مقياس لوني ضوئي كهربائي.

تعتمد اختبارات نتروجين محددة تجرى على الماء الطبيعية أو على الماء المعالج أو مياه الصرف، على أهداف الدراسة. قد تتطلب اختبارات ماء الشرب تحليل النترات فقط. وأثناء مسح تلوّث جدول ما، قد يكون الاهتمام بصورة أولية مركزاً على نتروجين الأمونيوم. ويساوي النتروجين الكلي في الماء مجموع تراكيز النتروجين العضوي ونتروجين الأمونيا ونتروجين النتريت والنترات. ويتم التعبير عن نتائج الاختبارات بوحدات mg/l نتروجين.

الفوسفور

المركب الشائع للفوسفور هو أورثوفوسفات $(PO_4^{\equiv}$ ، $H_2PO_4^{-}, HPO_4^{=})$؛ والبولي فوسفات مثل $Na_3(PO_3)_6$، والتي تدخل في وضع صيغ المنظفات الصنعية والفوسفور العضوي. يتحلمأ معظم البولي فوسفات في الماء إلى صيغة الأورتو الثابتة، بينما تتفكك المادة العضوية المتحللة حيوياً محررة الفوسفات. وبدوره يتركب الأورثوفوسفات صنعياً ويرجع إلى الحيوانات الحية أو إلى الأنسجة النباتية.

والاهتمام الرئيس في عمليات المعالجة الحيوية للنفايات، هو ضمان وجود فوسفور كافٍ لدعم النمو الجرثومي. وبالرغم من احتواء مياه الصرف الصحي على فائض من الفوسفات عادة، إلا أن بعض مياه الصرف الصناعي تعاني عوزاً في المغذيات نتيجة محتواها الكيميائي المرتفع من الكربوهيدرات والهيدروكربون. ويتركز الاهتمام الرئيس في مكافحة تلوّث الفوسفور على التسميد الجائر (الأترفة) (Eutrophication) للمياه السطحية الأمر الذي يسبب نمواً ضاراً للطحالب والأعشاب المائية الضارة.

والطريقة الشائعة لتقدير الأورثوفوسفات هي الطريقة اللونية لكلوريد القصدير (Stannous Chloride Colorimetric Method). يتحد كل من أمونيوم موليبدات وكاشف كلوريد القصدير مع الفوسفات ليعطي معلقاً غروياً أزرق اللون. وهناك تقنية ثانية لتقدير الأورثوفوسفات هي طريقة حمض الفوسفور الفانادوموليبدونومي (Vanadomolybdophosphoric Acid). يستخدم الفاناديوم في الاتحاد مع موليبدات الأمونيوم لينتج لوناً أصفر مع أيون الفوسفات. يتم قياس تطور اللون كمياً باستخدام مقياس لوني ضوئي كهربائي.

تحوّل الحلمأة الحمضية لعينة مياه لدى درجة غليان الماء، الفوسفات الكثيفة (بيرو، تري، بولي، وأنواع أخرى ذات وزن جزيئي كبير من قبيل هكساميتافوسفات) إلى أورثوفوسفات. تحرر الحلمأة اللطيفة بعض الفوسفات من

المركبات العضوية كأمرٍ لا مفرّ منه، غير أنه يمكن تقليل ذلك إلى حدٍّ أصغري عبر اختيار قوة الحمض وزمن ودرجة حرارة الحلمأة. إن الجزء المتحول من الفوسفات الكثيفة مساوٍ للفوسفور القابل للحلمأة بواسطة الحمض والمقدر عبر هذا الاختبار مطروحاً منه الأورثوفوسفات المقاسة مباشرة.

يحول الهضم بواسطة حمض قوي كل الفوسفور الموجود في العينة بما في ذلك الفوسفور العضوي إلى أورثوفوسفات، ولذلك فإنه في اختبار الفوسفور الكلي تُغلى العينة في محلول مركز إما من حمض بركلوريك أو حمض الكبريتيك أو حمض الأزوتيك كي يتم هضم المادة العضوية وتحرير الفوسفور المرتبط. ويقاس الفوسفور الكلي باختبار العينة المهضومة لتقدير محتوى أورثوفوسفات.

يتضمن تصنيف أجزاء الفوسفور في عينة ما الحالة الفيزيائية لأنماطه القابلة للترشيح (المُذابة)، والفوسفور دقيق الحُبيبات إضافة إلى الفوسفور الكيميائي. ويتم فصل النمط المُذاب عن النمط دقيق الحُبيبات عبر الترشيح بواسطة مرشح غشائي 0.45 μm. ويتكون التحليل الكامل للفوسفور من إنجاز اختبارات أورثوفوسفات والحلمأة بالحمض والفوسفات الكلية على أجزاء مقاسة الحجم من العينات المرشحة وغير المرشحة. ويتم حساب محتوى الفوسفور دقيق الحُبيبات في كل من أجزاء الفوسفور الثلاثة عبر طرح قياسات جزء الفوسفور المرشح من تقديرات اختبار الفوسفور ذي الصلة، إنما لكامل العينة.

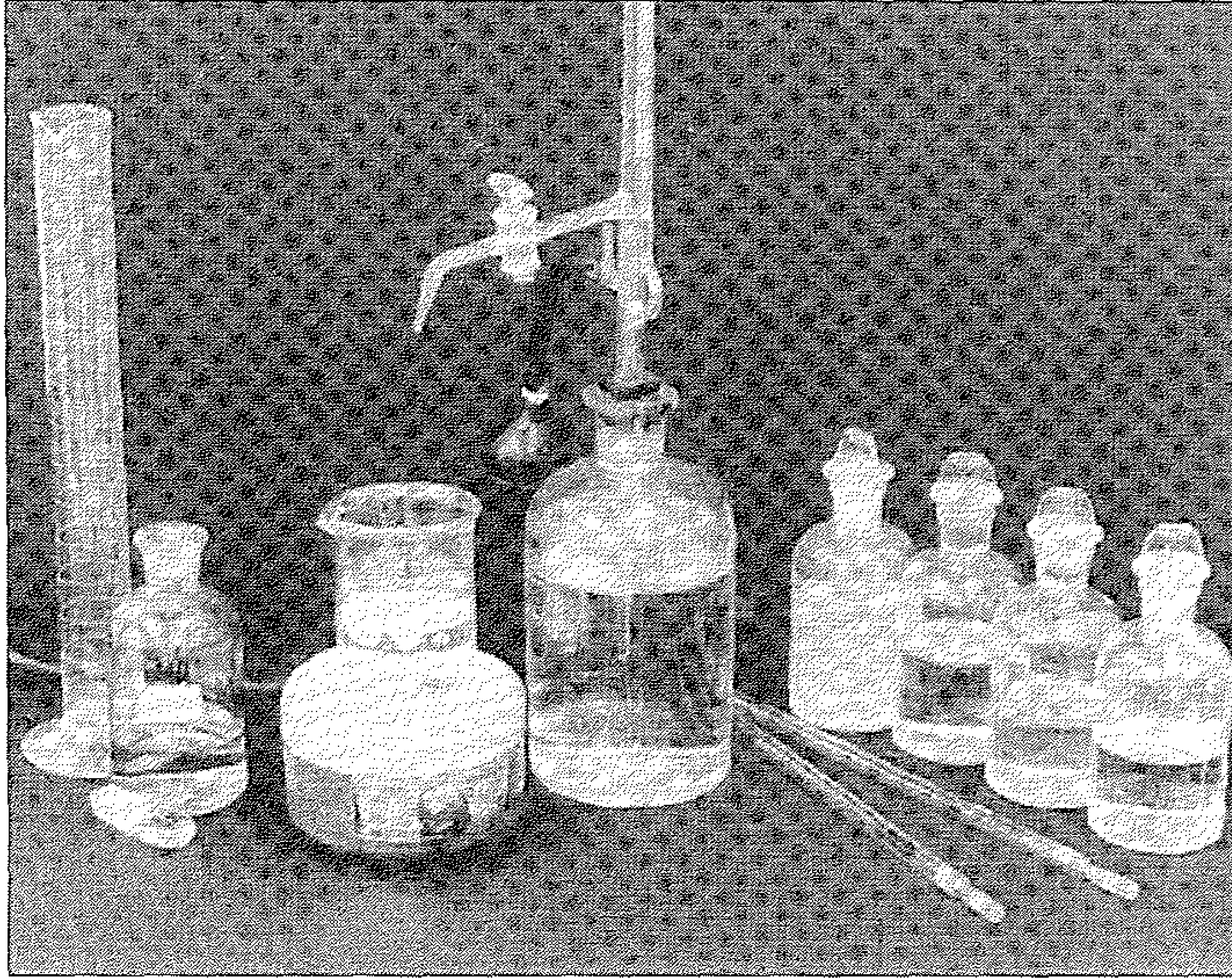
يمكن أن يتسبب تنوع تقنيات المعالجة المسبقة للعينات وطرق قياس تراكيز الفوسفور وأسلوب التعبير عن النتائج إلى حدوث تشوش. لذا يجب تدوين الإجراءات المتبعة في التحليل مع نتائج الاختبار. وأبرز نقاط الضعف في عرض بيانات الفوسفور في المراجع المنشورة تكمن في عدم توثيق تقنية جمع العينات، وحفظها وترشيحها وعمليات التحضير المسبقة الأخرى. إن الطبعة الثلاثين لكتاب **(الطرق القياسية** *Standards Methods*) [1] وما تلاها من طبعات، قد قدرت

الفوسفور الكلي عبر الهضم بالحمض، في حين اعتبرت الطبقات السابقة أن جـزء الفوسفور المتوفّر بعد الحلمأة بالحمض هو الكمية الكلية، وفي الواقع يتضمن هـذا الجزء صيغتَي الفوسفور الأورثو والبولي فقط. كما إن هناك تعديلاً آخر يتـضمن التعبير عن النتائج. فكتاب (Standards Methods) يحسب الآن نتائج كل اختبارات الفوسفات بمصطلح بـ mg/l فوسفور. في حين كان التعبير المستخدم قبـل عـام 1971 هو mg/l فوسفات. ولتحويل mg/l فوسفات إلى mg/l فوسفور، يجب تقـسيم القيمة المعطاة على 95 (وهي الوزن الجزيئي لـ PO_4) وضرب النـاتج بـ 31 (الوزن الذري للفوسفور). وبكلمات أخرى فإن 1.00 mg/l فوسفات تـساوي mg/l 0.34 فوسفور، أو 1.00 mg/l فوسفور تساوي 3.06 mg/l فوسفات.

الأكسجين المُذاب

الأكسجين المُذاب (Dissolved Oxygene, DO) عامل هام في تحديد نوعية الماء، وضبط التلوّث، وإجراءات معالجة أخرى. إذ يستخدم الأكسجين المُذاب في التفكك الحيوي للمادة العضوية. وتوجد في الأغلب مستويات (levels) أدنى من قيم الإشباع على نحوٍ معتبر في الماء السطحية الملوثة. ونظراً إلى اختناق الأسماك والكثير من الحيوانات المائية نتيجة نقص الأكسجين، يعتبر تقدير الأكسجين المُذاب قياساً أساسياً في مسوحات التلوّث. تتم مراقبة معدل إمداد عمليات المعالجة الهوائية بالهواء عبر قياس الأكسجين المُذاب للمحافظة على وجود شروط تهوية ولمنع ضياع الطاقة نتيجة التهوية الزائدة. تستخدم اختبارات DO في تقدير احتياج مياه الصرف للأكسجين الحيوي كيميائي BOD (Biochemical Oxygen Demand). تمزج عينات صغيرة من مياه الصرف مع ماء مخفف وتوضع في قوارير احتياج أكسجين حيوي كيميائي BOD لاختبار الأكسجين المُذاب بفواصل زمنية مختلفة.

ويعتبر الأكسجين عامل تآكل هام في أنظمة الأنابيب. وإزالة الأكسجين من تجهيز المراجل بالماء، إجراءٌ شائع، واختبار DO هو الأسلوب المتبع في ضبط ذلك.



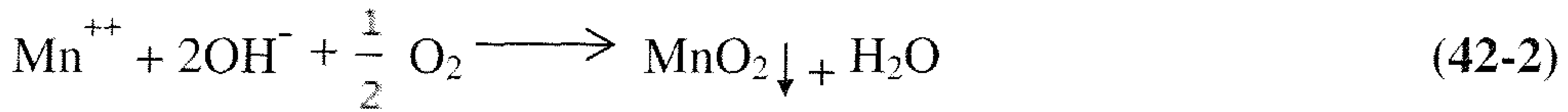
شكل 2-17: جهاز التقدير الكيميائي للأكسجين المُذاب عبر تعديل أزيد لطريقة قياس اليود. المواد من اليسار إلى اليمين هي: مخبار مدرج، قارورة BOD، بيكر على مازج مغطيسي، جهاز معايرة حجمية مع سحّاحة تنقيط تحوي على معاير ثيوكبريتات الصوديوم، كاشف قلوي-يودي-أزيدي، حمض الكبريتيك مركز، ومحلول نشاء

إن تعديل الأزايد (Azide) الذي تم بطريقة قياس اليود هو أكثر التقنيات الكيميائية شيوعاً لقياس الأكسجين المُذاب. ويستخدم الاختبار القياسي في ذلك قارورة BOD حجمها 300 ml حيث توضع عينة الماء فيها (شكل 2-17). والكواشف الكيميائية المستخدمة في هذا الاختبار هي محلول كبريتات المنغنيز، وكاشف أيوديد - أزيد، وحمض الكبريتيك المركز، وكاشف نشاء، ومحلول صوديوم ثيوكبريتات قياسي للمعايرة. تتم الخطوة الأولى بإضافة 1.0 ml من كل من الكاشفين إلى قارورة BOD ثم تُسدّ بإحكام لاستبعاد فقاعات الهواء وتُمزج جيداً عبر قلب القارورة بشكل متكرر. فإن لم يوجد أي أكسجين فسيتفاعل أيون المنغنيز (Mn^{++}) فقط مع أيون الهيدروكسيد ليشكل راسباً أبيض نقياً من $Mn(OH)_2$، معادلة

41-2. فإن وجد أكسجين فسيتأكسد بعض المنغنيز إلى تكافؤ أعلى (Mn^{+++}) ويترسب على شكل أكسيد بني اللون MnO_2، معادلة 2-42.

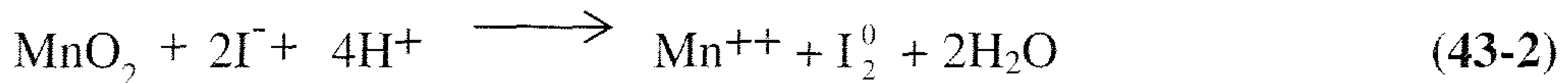


$$Mn^{++} + 2OH^{-} \longrightarrow Mn(OH)_2\downarrow \quad \mathbf{(41\text{-}2)}$$



$$Mn^{++} + 2OH^{-} + \frac{1}{2}\ O_2 \longrightarrow MnO_2\downarrow + H_2O \quad \mathbf{(42\text{-}2)}$$

وبعد رج القارورة تُترك لوقت كاف ما يسمح لكل الأكسجين بالتفاعل. تترك الرواسب الكيميائية لتترسب تاركةً سائلاً نقياً في الجزء العلوي. يُضاف 1 ml من حمض الكبريتيك المركز وتُسد القارورة مرة أخرى وتُمزج بقلبها عدة مرات إلى أن ينحل المعلق تماماً ويصبح اللون الأصفر متجانساً في كامل القارورة. تظهر المعادلة 2-43 التفاعل الذي تم بإضافة الحمض، حيث تم اختزال أكسيد المانغانيك إلى أكسيد مانغانوز، مع تحول كمية مكافئة من أيون اليوديد إلى يود حر. وكمية اليود I_2O مكافئة للأكسجين المُذاب في العينة الأصلية.



$$MnO_2 + 2I^{-} + 4H^{+} \longrightarrow Mn^{++} + I_2^0 + 2H_2O \quad \mathbf{(43\text{-}2)}$$

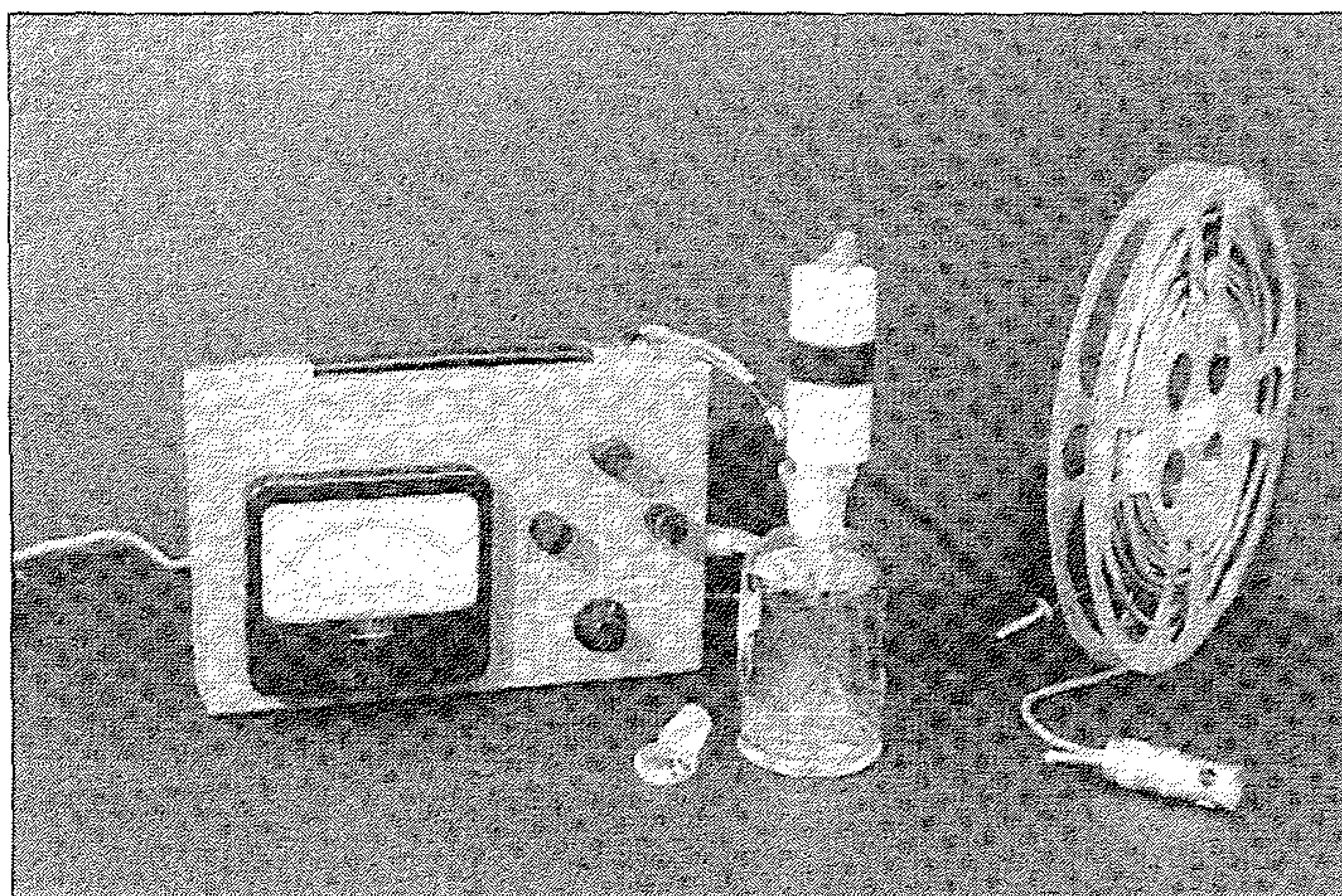
يصب مقدار من العينة حجمه 201 ml، يكافئ 200 ml من العينة الأصلية بعد تصحيح خسارة العينة نتيجة إضافة الكاشف، من زجاجة الـــ BOD في قارورة للمعايرة بمحلول ثيو كبريتيات 0.0250 N. تتأكسد الثيوكبريتيات إلى تتراثيونات بينما يتحول اليود الحر إلى أيون اليود، معادلة 2-44.



$$2S_2O_3 + I_2^0 \xrightarrow{\text{كاشف نشاء}} S_4O_6^{=} + 2I^{-} \quad \mathbf{(44\text{-}2)}$$

ونظراً إلى استحالة معايرة محلول اليود الأصفر اللون إلى سائل عديم اللون، يتطلب الأمر إضافة كاشف. إن النشاء المُذاب بوجود اليود الحر يعطي لوناً أزرق. فلذلك بعد المعايرة للوصول إلى لون القش الفاتح، تضاف بضع نقاط من محلول النشاء وتستمر المعايرة حتى أول اختفاء للون الأزرق. وإذا استخدم محلول

صوديوم ثيوكبريتيات 0.0250 N لتقدير الأكسجين المُذاب في حجم يساوي 200 ml من العينة الأصلية، فإن 1.0 ml من المادة المعايرة تكافئ 1.0 mg/l من DO.



شكل 2-18: جهاز قياس الأكسجين المُذاب مع سابرة مخبرية تم إدخالها في قارورة BOD. إلى اليمين سابرة حقلية مع سلك تطويل ملفوف على بكرة

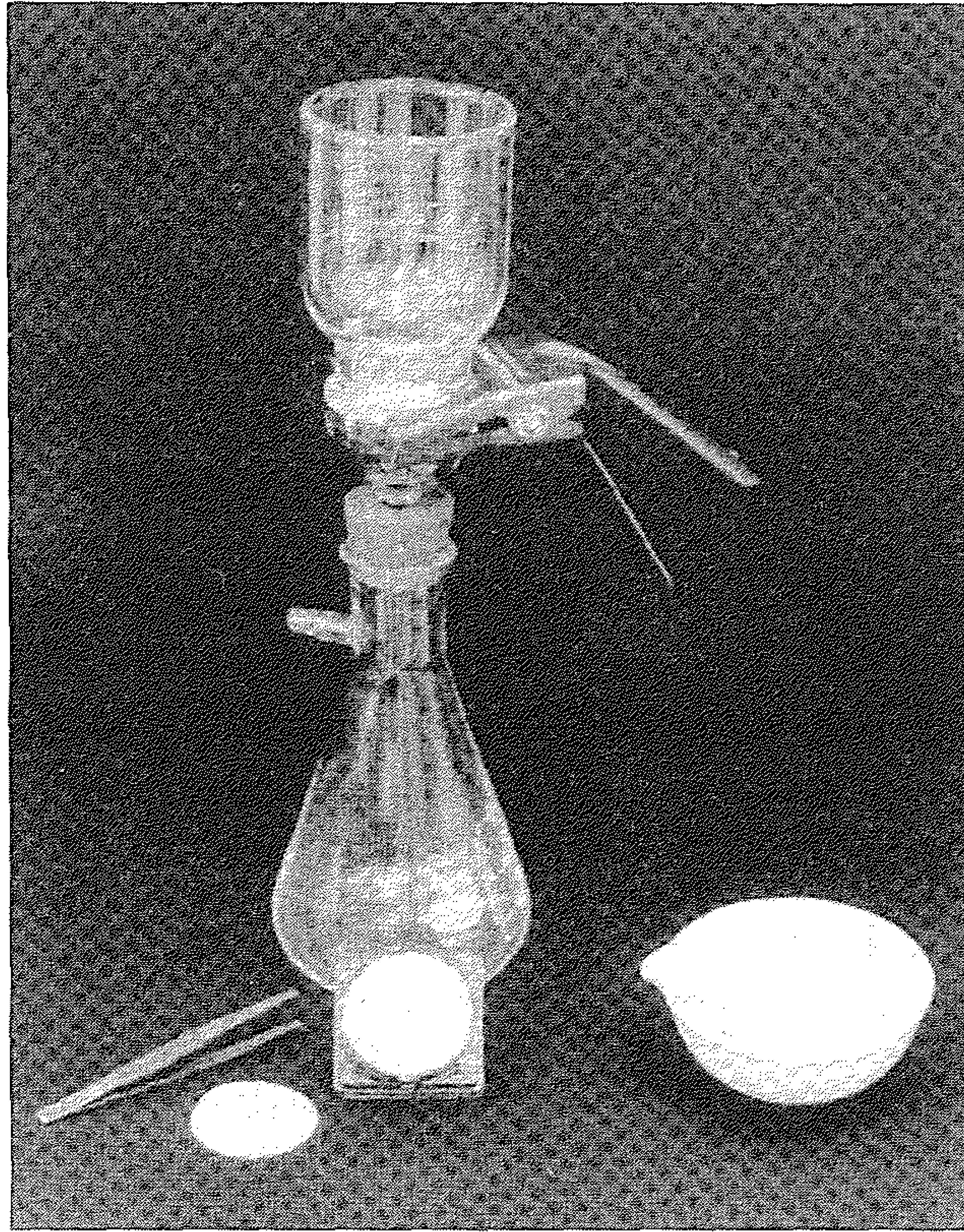
تتوفّر أقطاب غشائية لقياس الأكسجين المُذاب من دون معالجة كيميائية للعينة. وتتكون سابرة (Probe) الأكسجين المُذاب من قطبين معدنيين صلبين يكونان على تماس مع المحلول الملحي المفصول عن عينة الماء بواسطة غشاء انتقائي (شكل 2-18). ملئت النهاية المعزولة للسابرة الحاوية على الأقطاب المعدنية بمحلول كلوريد البوتاسيوم، ومغطاة بغشاء من البولي إيثيلين أو التيفلون مثبت في مكانه بحلقة من المطاط. والسابرة مزودة بمستشعر (Sensor) لقياس درجة الحرارة. لقد صممت الوحدة التي تدخل في القارورة (شكل 2-18) خصيصاً لقياس الأكسجين المُذاب DO في اختبار BOD اللاتخريبي، ويمكن قياس استنزاف الأكسجين بفواصل زمنية مختلفة في القارورة نفسها مع مراعاة سدّ القارورة بين القراءات. والسابرة الحقلية، كما هو موضح إلى يمين الشكل قابلة للغمر إذ يمكن إنزالها في

مياه البحيرات والجداول لقياس الأكسجين المُذاب ودرجة الحرارة. كما يمكن للوحدة نفسها أن تلحق بقضيب طويل بحيث يمكن قياس الأكسجين المُذاب في خزانات التهوية. وأجهزة القياس المستخدمة في هذه السابرة هما مقياسا درجة الحرارة والأكسجين المُذاب بتشغيلهما في المخبر عبر مأخذ تيار كهربائي، وفي الحقل بواسطة بطارية. تتم معايرة الأقطاب الغشائية في هواء مشبع بالرطوبة أو في عينة مياه ذات تركيز أكسجين ذوّاب معلوم تم حسابه بطريقة قياس اليود.

المواد الصلبة

اختبارات المواد الصلبة العضوية والخاملة المعلقة والمنحلة اختبارات شائعة في الماء الملوثة. يبلغ الحد الأقصى الموصى لتركيز المواد الصلبة المذابة (SS) في مياه الشرب 500 mg/l، وتعتبر المواد الصلبة المعلقة والطيارة متحولات شائعة مستخدمة في تمييز مياه الصرف المنزلية عن الصناعية. وتتحدد الكفاءة التنشغيلية لوحدات المعالجة المختلفة بقدرتها على إزالة المواد الصلبة، كإزالة المواد الصلبة في خزانات الترسيب، وتخفيض المواد الصلبة لدى هضم الحمأة.

المواد الصلبة الكلية هي المتبقيات الكلية نتيجة التبخر، وهي المصطلح المستخدم للمواد المتبقية في طبق تبخير بعد تبخر عينة من الماء أو مياه الصرف متبوعاً بالتجفيف بالفرن. يوضع حجم مُقاس من العينة في طبق تبخير يكون عادة من البورسلين كما هو موضح في الشكل 2-19. يتبخر الماء في حمام بخار أو في فرن تجفيف لدى درجة أقل بـ $2^{\circ}C$ عن درجة الغليان تفادياً لتطايرها. يتم تجفيف العينة لمدة ساعة على الأقل في فرن تحت درجة حرارة بين $103^{\circ}C$ و$105^{\circ}C$ وتبريدها من ثم في وعاء تجفيف للوصول إلى وزن ثابت. ويساوي عدد الميليغرامات المتبقيات الكلية مقدار الفرق بين الوزن بعد التبريد والوزن الأصلي للطبق الفارغ. يحسب تركيز المتبقيات الكلية باستخدام المعادلة 2-45.



شكل 2-19: جهاز لتقدير المواد الصلبة، مع مزوّد بدورق مخروطي للامتصاص مع قمع ملحق، مع ورق ترشيح وأطباق تجفيف

$$\text{إجمالي المواد الصلبة mg/l} = \frac{1000\ \text{ml/l} \times \text{وزن المتبقيّات المجفّفة (mg)}}{\text{ml من العينة}} \qquad \textbf{(45-2)}$$

تدل مصطلحات المواد الصلبة المعلقة والمواد المذابة على المادة المتبقية وعلى تلك المارة من خلال مرشح قياسي من الألياف الزجاجية على التوالي. يوضع جزء موزون من العينة في قمع ويسحب الماء منه بواسطة مخلية هواء موصولة بدورق مخروطي للامتصاص موضح في الشكل 2-19 وبعد الترشيح، ينقل قرص الترشيح من القمع ويجفف ويوزن لتقدير زيادة الوزن الناتجة من

المتبقيات. تستخدم المعادلات نفسها لحساب المواد المعلقة الصلبة الكلية المماثلة للمعادلة 2-45. لا يتم تقدير المادة المذابة (غير القابلة للترشيح كمتبقيات) بشكلٍ مباشرٍ، لأنها تحسب عبر طرح تركيز المواد الصلبة المعلقة من تركيز المواد الصلبة المتبقية الكلية.

ويتم تقدير المواد الطيارة بحرق المتبقيات الناتجة من التبخر أو المتبقيات الناتجة من الترشيح بدرجة حرارة $500^{\circ}C \pm 50^{\circ}C$ في فرن كهربائي معزول. تحرق المواد الصلبة لمدة 15 min إلى 20 min ويعبر عن خسارة الوزن نتيجة الحرق بـــ mg/l مواد طيارة، ويشار إلى المواد المتبقية عن الحرق بمواد متبقية ثابتة أو برماد. ويجب إخضاع طبق التبخر المستخدم في تحليل المواد الصلبة الطيارة لمعالجة مسبقة بالحرق في فرن معزول لتقدير الوزن الأولي (الفارغ) الدقيق. لا تسمح مرشحات الألياف الزجاجية من المعالجة المسبقة بالحرق، لذا يمكن حرق بضع مرشحات مجففة بالفرن (من الرزمة المستخدمة نفسها في الاختبار) بهدف تقدير معدل خسارة الوزن نتيجة الحرق. تضاف قيمة هذا المعدل، وهو ضئيل جداً مقارنة بوزن خسارة المواد الصلبة المعلقة الطيارة من العينة، إلى الوزن الناتج عن حرق المرشح والمواد الصلبة الثابتة. وبهذه الطريقة يتم تعويض خسارة المواد الطيارة عبر المرشح الزجاجي في أثناء الحرق من خلال حساب المواد الصلبة المعلقة الطيارة.

وغالباً ما تفسر المواد الطيارة في مياه الصرف كمقياسٍ للمادة العضوية القابلة للتفكك، وهذا ليس صحيحاً تماماً، إذ إن حرق الكثير من المركبات العضوية النقية يخلف رماداً وأملاحاً لاعضوية كثيرة تتطاير في أثناء الحرق.

وفي ما يأتي بيانات وحسابات نموذجية لتحاليل حمأة مياه صرف لتقدير المواد الصلبة الكلية والمواد الصلبة المتطايرة الكلية:

وزن الطبق فارغاً على الميزان التحليلي: 64.532 g

وزن الطبق فارغاً على ميزان بسيط: 64.5 g

وزن الطبق مع عينة حمأة: 144.7 g

وزن العينة: 80.2 g

وزن الطبق مع متبقيات عينة حمأة مجففة: 68.950 g

وزن المتبقيات الصلبة في الحمأة: 4.418 g

النسبة المئوية للمتبقيات الصلبة الكلية: $4.42 \times 100/80.2 = 5.51$ %

وزن الطبق مع المواد الصلبة المحترقة: 65.735 g

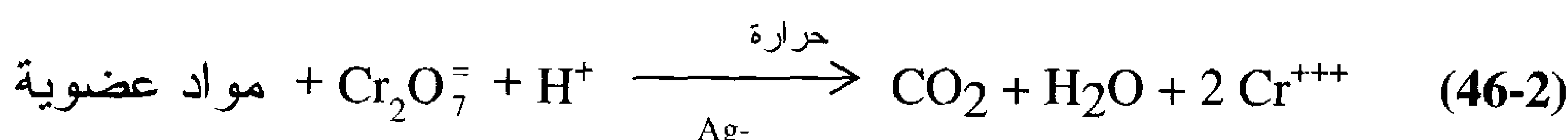
وزن المواد الصلبة الطيارة: 3.215 g

النسبة المئوية للمواد الصلبة الطيارة: $3.22 \times 100/ 80.2 = 4.02$

النسبة المئوية المواد الصلبة الكلية الصلبة: $3.22 \times 100 / 4.42 = 72.8$ %

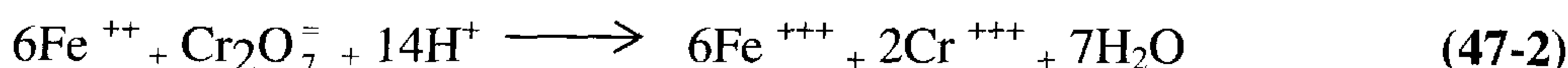
احتياج الأكسجين الكيميائي

يستخدم احتياج الأكسجين الكيميائي (Chemical Oxygen Demand, COD) على نطاق واسع لوصف القوة العضوية لمياه الصرف وتلوّث الماء الطبيعية. يقيس الاختبار كمية الأكسجين المطلوبة لأكسدة المادة العضوية الموجودة في العينة إلى ثاني أكسيد الكربون ومياه. ويتكون الجهاز المستخدم في طريقة إعادة ذوبان ديكرومات، من قارورة مزودة بمكثف وطبق تسخين. تبدأ خطوات الاختبار بإضافة كمية معلومة من محلول ديكرومات قياسي، وكاشف حمض الكبريتيك يحوي كبريتات الفضة وحجم مقاس من العينة في الدورق. يتم إعادة تذويب المزيج (تبخير ثم تكثيف) لمدة ساعتين. تتحطم معظم أنماط المادة العضوية ضمن هذا مزيج حمض الكبريتيك والكروميك الذي في حالة غليان معادلة 2–46.



$$\text{مواد عضوية} + Cr_2O_7^{=} + H^+ \xrightarrow[\text{Ag-}]{\text{حرارة}} CO_2 + H_2O + 2\,Cr^{+++} \qquad \textbf{(46-2)}$$

وبعد تبريد المزيج وتخفيفه بمياه مقطر، وبعد فصل المكثف، تتم معايرة الديكرومات المتبقية في العينة بواسطة كبريتات أمونيوم الحديدوز (FAS) قياسية باستخدام كاشف الفيروين. يتفاعل أيون الحديدوز مع أيون الكرومات وفقاً للمعادلة 2–47، حيث يتغير اللون بنهاية التفاعل من الأخضر المزرق إلى بني محمرّ.



$$6Fe^{++} + Cr_2O_7^{=} + 14H^+ \longrightarrow 6Fe^{+++} + 2Cr^{+++} + 7H_2O \qquad \textbf{(47-2)}$$

ويتم تحليل عينة خلبية من مياه مقطر عبر خطوات اختبار الـ COD نفسها التي أجريت على عينة مياه الصرف. والهدف من تحليل العينة الخلبية هو تعويض أي خطأ قد ينتج من وجود مادة عضوية إضافية في الكواشف. يحسب الـ COD باستخدام المعادلة 2-48، ويقسم الفرق بين كميتي المادة المعايرة المستخدمة والعينة الخلبية وعينة مياه الصرف، على حجم العينة ويضرب بنظامية المادة المعايرة. ويستخدم المضاعف 8000 للتعبير عن النتائج بميليغرامات من الأكسجين باللتر، حيث إن لتراً واحداً يحوي 1000 ميليلتر والوزن المكافئ للأكسجين هو 8.

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(\text{مولارية FAS})\ 8000 \times (\text{العينة الخلبية ml} - \text{حجم معاير العينة ml})}{\text{حجم العينة ml}} \qquad \textbf{(48-2)}$$

الكربون العضوي الإجمالي

الكربون العضوي الإجمالي (Total Organic Carbon, TOC) هو الكربون المرتبط مع طيف كبير من المركبات العضوية في الماء ومياه الصرف. وتعرف

أجزاء الكربون الكلي كالآتي: كربون لاعضوي-الكربونات، بيكربونات، وثاني أكسيد كربون ذوّاب (CO_2)، كافة ذرات (TOC) والمرتبط بتكافؤات متساوية مع الجزيئات العضوية، الكربون العضوي المُذاب (Dissolved Organic Carbon (DOC)، وهو ذاك الجزء من الـ (TOC) الذي يمر عبر مرشح قطر مساماته µm 0.45، وكربون عضوي معلق- وهو ذاك الجزء من الـ (TOC) الذي يتبقى فوق المرشح المذكور. ويمكن إلغاء تداخل الكربون اللاعضوي في أثناء اختبار (TOC) عبر تحميض العينة حتى بلوغ قيمة pH = 2 أو أقل لتحويل أنواع الكربون اللاعضوي إلى CO_2 ومن ثم تنظيفه بغاز مُنَقٍ أو عبر طرح الهواء لإزالة CO_2.

تستخدم كل طرق تحليل الـ (TOC) أجهزةً مخبريةً محددة لتحويل الـ (TOC) إلى CO_2 ، ولكشف الـ CO_2 المتحرر من أكسدة المادة العضوية في العينة. وطريقة الحرق بدرجات الحرارة العالية مناسبة لعينات التراكيز العالية بالـ (TOC) والتي يتوجب تمديدها في ما لو استخدمت طريقة البيركبريتات. ففي طريقتي البيركبريتات - فوق البنفسجية وأكسدة البيركبريتات المسخنة[1]، يؤكسد الكربون العضوي إلى CO_2 بواسطة البيركبريتات بوجود أشعة فوق بنفسجية أو حرارة. وقد ينظف الـ CO_2 الناتج من العينة ثم يُجفّف ويُنقل عبر غاز حامل إلى محلل أشعة تحت حمراء غير مشتت، ليعاير حجمياً، أو يُفصل من مجرى المحلول بواسطة غشاء يسمح بمرورٍ انتقائي للـ CO_2 إلى ماءٍ عالي النقاء، حيث يُقاس هناك تغير الناقلية الكهربائية ويُربط ذلك مع كمية الـ CO_2 التي عبرت الغشاء. يمكن لطريقتي البيركبريتات و/ أو الأكسدة بالأشعة فوق البنفسجية أن تحدد كميات الـ CO_2 حتى ولو تدنت كميتها إلى ما دون 10 µg/l.

لقد تمت زيادة مصادر التجهيز بالماء للعدد المتزايد من البلديات، من خلال إعادة الاستعمال غير المباشر لمياه الصرف المعالجة. ولعل هذه الزيادة للمياه السطحية قد نجمت إما عن طرح لا مسؤول لمياه الصرف في أعالي النهر، أو

نتيجة زيادة مخططة من المياه الجوفية، أضيفت إما عبر الرشح أو عبر حقن مياه مستصلحة (مياه صرف خضعت لمعالجة ثلاثية ومتقدمة). لقد برزت قضية نوعية الماء نتيجة وجود مركبات عضوية متبقية مقاومة لعمليات المعالجة والتفكك الطبيعي في البيئة. تتضمن المركبات العضوية في الـ (TOC) مواد ساهم بها كل من الاستعمال المنزلي والصناعي للمياه، والمنتجات الجانبية للتعقيم المتأتية من الكلورة، والمنتجات الجرثومية المتشكلة في أثناء المعالجة الحيوية لمياه الصرف.

لقد أثارت بعض هذه المركبات التي كُشفت بتراكيز قابلة للقياس، رغم ضآلتها، القلق حول المخاطر الصحية لإعادة الاستعمال غير المباشر لمياه الصرف المعالجة بهدف زيادة مصادر التجهيز بالماء. ويثير غياب التقنيات الموثوقة لكشف هذه المركبات في الماء المستصلحة، شكوكاً كبيرة تتعلق بالمخاطر الصحية على مستخدمي هذه المياه.

إن استخدام الـ (TOC) كممثلٍ أو متحول مركَّب مُعبر عن نوعية وجودة الماء المستصلحة ومياه الشرب المتأتية من مصادر تمت زيادتها، يعتبر في الوقت الراهن مقياساً للأمان حتى ولو لم يكن ممكناً تحديد كل ملوث على حدة. وسوف يدّعي بعضهم أن متحولاً وحيداً غير قادر على تمييز الملوثات كالـ (TOC)، يُقدّم قيمةً مهملةً على المخاطر الصحية. غير أن إزالة الـ (TOC) والـ (DOC) من التجهيز بمياه الشرب يخفّف من تركيز المواد الضارة المحتملة والمتأتية من مركبات عضوية غير محددة. وتقوم حالياً بعض الدول التي تضيف مياهاً مستصلحة إلى مصادر مياهها الجوفية والسطحية، أو أنها تدرس إضافة مياه مستصلحة إلى مصادرها المائية نتيجة تناقص المياه العذبة، بوضع استراتيجية إدارة المخاطر عبر تحديد التراكيز القصوى للـ (TOC) في الماء المستصلحة المستخدمة لزيادة المياه الجوفية في حوامل مياه الشرب.

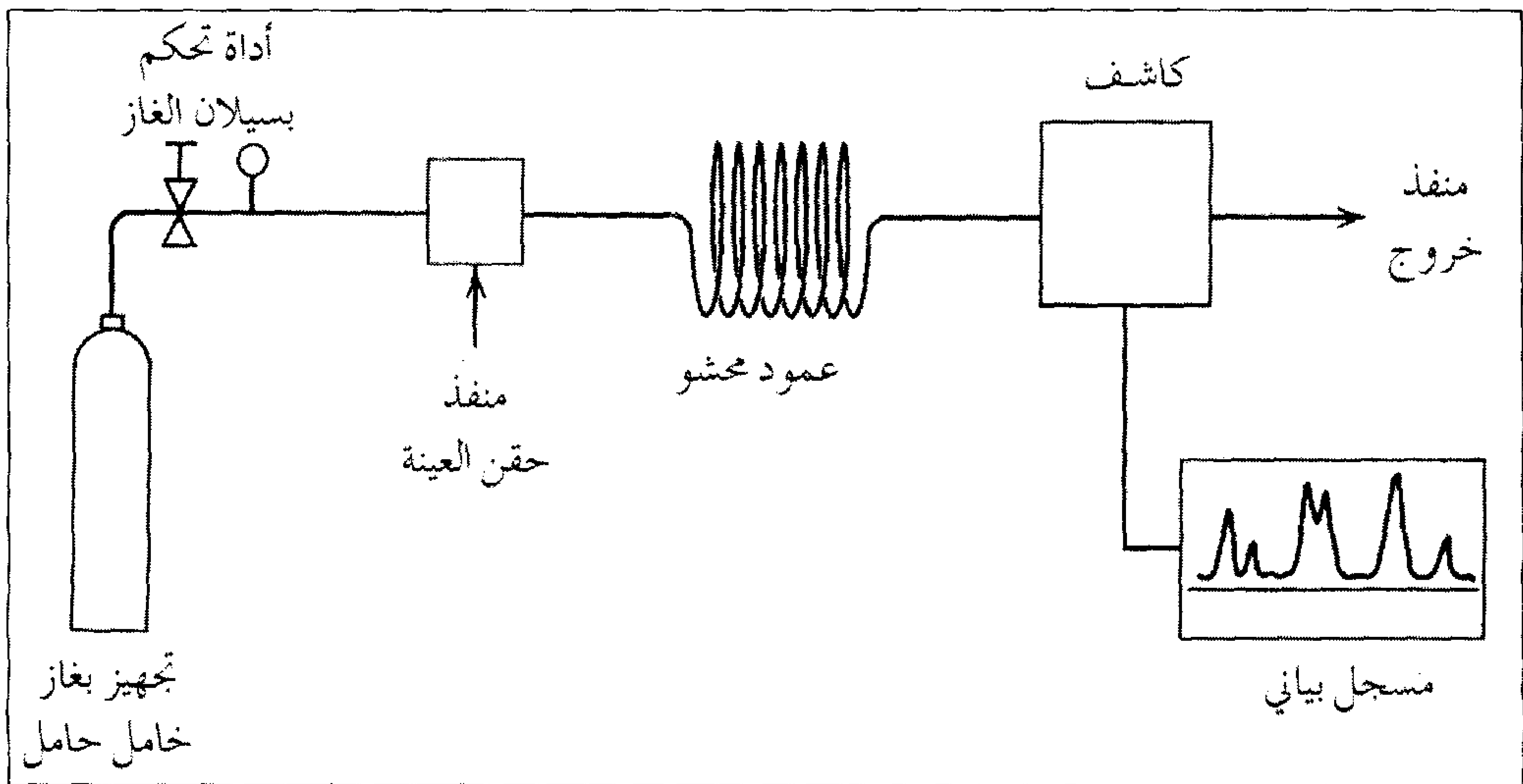
مواد الأثر الكيميائية العضوية

لقد تم كشف كميات ضئيلة من المواد العضوية المختلفة الكثيرة في مياه الشرب التي تظهر في الماء السطحية. تتضمن مواد الأثر الكيميائية العضوية الموجودة طبيعياً، حمضي الهوميك والفولفيك الناتجين من تحلل النبات. وبكلورة الماء الحاوية على هذه المركبات، فسيتشكل ميثان ثلاثي الهالوجين كالكلوروفورم (ميثان ثلاثي الكلور $CHCl_3$). ومركبات ميثان ثلاثي الهالوجين مواد مسرطنة مريبة حدّت معايير مياه الشرب من استخدامها.

والمواد الكيميائية الصنعية الناتجة من مياه الصرف الصناعي والمبيدات الحشرية مركبات عضوية أخرى ذات اعتبارات صحية. والتقنية التحليلية لكشف مواد الأثر الكيميائية العضوية هذه هي طريقة التحليل اللوني. وطرق تحضير العينة معقدة وتتضمن فصلاً أولياً لمواد الأثر العضوية من محلول مائي. يتم فصل كلورونيتيد هيدروكربون بواسطة مذيب ثم يركز عبر تبخيره ثم حقنه في جهاز تحليل لوني غازي. ويتم تنظيف الهاليدات العضوية (ميثان ثلاثي الهالوجين) وذلك بإمرار فقاعات غازٍ خامل عبر عينة الماء ثم اصطيادها في عمودٍ قصيرٍ يحوي مادةً ممتزةً مناسبة. يتم تحرير المركبات حرارياً من المصيدة لتُدفع عائدةً إلى عمود التحليل اللوني.

والمكونات الرئيسة لجهاز التحليل اللوني الغازي هي: مزود بغاز حامل مع أداة تحكم بسيلانه، ومنفذ حقن لإدخال العينة، وعمود ممكن ضبط درجة حرارته يحوي حشوة مناسبة، وكاشف لتحديد المركبات المتسربة من العمود، ومسجل لرسم منحنى الإشارة القادمة من الكاشف (شكل 2-20). ينساب الغاز الحامل (نتروجين، أرغون-ميثان، هليوم أو هيدروجين) باستمرار عبر العمود تحت درجة حرارة ومعدل انسيابٍ ثابتين. تُحقن عينة صغيرة للتحليل بواسطة محقن صغير عبر الغشاء الحاجز من خلال منفذ العينة، حيث يحوّل التبخر السريع المركبات الطيارة

إلى غازات تُحمل بواسطة الغاز الحامل حيث تتحرك عبر العمود بمعدلات سرعةٍ مختلفة وفقاً لاختلافات معاملات التجزئة بين طوري الغاز الحامل المتحرك والثابت. الطور الثابت هو سائلٌ غُلّف على مادة صلبة حُبيبية خاملة تُدعى حشوة العمود محفوظةً في أنبوب زجاجي أو معدني. تتحرك مكونات العينة، والتي تكون مُذابة نسبياً في الطور السائل، عبر العمود على نحوٍ أبطأ من المكونات الأقل ذوباناً نسبياً. ومع خروج كل مكون من مكونات العينة من العمود ومروره عبر الكاشف، يتم قياس التغير النسبي في الإشارة الكهربائية كمياً في مسجل بياني ورقي.



شكل 2-20: رسم تخطيطي لجهاز التحليل اللوني الغازي

يسمح زمن بقاء العينة في العمود تحديد مادة بعينها، حيث يتناسب ارتفاع الذروة في المخطط الذي أظهره المسجل أو المساحة الواقعة تحت الذروة مع كمية المكون. تتضمن طرق الكشف الناقلية الحرارية، تأين اللهب، وإمساك الإلكترون، وطيف الكتلة. إن مواد الطور الثابت التركيز، وارتفاع العمود وقطره، ودرجة حرارة التشغيل، وانسياب الغاز الحامل ونمط الكاشف، هي المتغيرات التي يتمّ التحكّم بها لتسمح بتحليل مواد أثرٍ عضوية مختلفة.

الزيت والشحم

يُشار إلى مجموعةٍ متنوعةٍ من المواد العضوية تتضمن الهيدروكربون، والدهون، والزيوت، والشموع وأحماض دهنية عالية الوزن الجزيئي، بمصطلح الزيت والشحم. وترتبط أهميتهما في مياه الصرف المنزلي والصناعي بصعوبة التعامل معهما ومعالجتهما. ونظراً إلى ذوبانيتهما المتدنية، ينفصل الشحم عن الماء ويلتصق بالجدران الداخلية للأنابيب والخزانات ويقلّل من قدرة معالجة مياه الصرف وينتج مواد صلبةً حمأيةً شحميةً صعبة المعالجة.

تستخدم طريقة وكالة الحماية البيئية (Environmental Protection Agency, EPA) لمراقبة دفقات مياه الصرف وفق النظام الوطني للتخلص من التصريف الملوث (National Pollutants Discharge Elimination System, NPDES) في ما يتعلق بالزيت والشحم، ن-هكسان (n-hexane) كمذيب استخلاص، والطريقة الثقالية لتقدير كمية المادة المستخلصة. ونظراً إلى احتمال التصاق المادة المستخلصة بأدوات أخذ العينات، تؤخذ عينات قدرها 1 لتر وتختبر من دون تركيبها. وإذا تأخر التحليل عن أكثر من بضعة ساعات، تحمض العينة بتخفيض قيمة pH إلى ما دون 2 بواسطة HCl أو H_2SO_4 (ويكفي لذلك إضافة 5 ml من الحمض إلى 1 لتر من العينة). تنقل العينة بعد تحميضها إلى قمع فصل بعد غمرها بـــ 30 ml ن-هكسان، يتم هزّ القمع بعنف ثم يُترك ليستقر بهدوء لإتاحة الفرصة لطبقةٍ مائيةٍ كي تنفصل. يتم صرف هذه الطبقة المائية مع كمية قليلة من المادة العضوية إلى الوعاء الأولي للعينة. أما طبقة المذيب فتصرف عبر قمع يحوي على ورقة مرشح مع 10 g من Na_2SO_4. سيُعاد تجمع الطبقات المائية وأي متبقيات لمستحلب أو لبقايا صلبة في قمع الفصل. يتم الاستخلاص مرتين أخريين مع غمر العينة كل مرة بـــ ن-هكسان وغسل حاوية العينة أيضاً به. يتم جمع المستخلص في قارورة تقطير مغشاة بالقطران. متضمناً غمراً أخيراً للمرشح وNa_2SO_4، مع إضافة 10 ml إلى 20 ml

ن-هكسان. تزود القارورة بوصلة تقطيرٍ تقوم بتقطير مذيب ن-هكسان من القارورة في حمام مائي بدرجة حرارة $85^{\circ}C$ وعندما يتوقف التكثف المرئي للمذيب، تُبعد القارورة من الحمام المائي. يُسحب الهواء من القارورة بواسطة مخلية هواء ثم تُبرّد العينة في مجفف. إن وزن المستخلص هو مقدار زيادة وزن دورق التقطير المغشّى بالقطران. وبتقسيم هذا الوزن مقدّراً بـــ mg على حجم العينة الأولى باللتر، يتم تقدير تركيز الزيت والشحم معبراً عنه بـــ mg/l.

الأحماض العضوية

يستخدم قياس تركيز الأحماض العضوية في الحمأة التي يجري هضمها لاهوائياً لمراقبة عملية الهضم. يتم فصل الأحماض التي هي بالدرجة الأولى أحماض الأستيتك (الخليك) والبروبيونيك واليتيوريك، من المحلول المائي بواسطة التحليل اللوني بالعمود. تسحب عينة مصفاة إلى بوتقة زجاج مصهور محشوة بحُبيبات حمض سيليسيك لامتصاص الحوض العضوية. يضاف من ثم كاشف كلوروفورم بوتانول إلى العمود وتنتشر تدريجياً عبره باطراد لسحب الأحماض العضوية انتقائياً من حشوة العمود. وبعد تنظيف المستخلص بالنتروجين أو بهواء خالٍ من ثاني أكسيد كربون، تتم معايرته حجمياً بمادة قاعدية عيارية لقياس محتوى الحمض. ويتم التعبير عن الأحماض العضوية الكلية بـــ mg/l من حمض الأستيتك (الخليك).

تحليل الغاز

ينتج التحلل الهوائي للحمأة، الميثان وثاني أكسيد الكربون وآثار من كبريتيد الهيدروجين. ويمكن مراقبة عملية الهضم بملاحظة الكميات النسبية لثاني أكسيد الكربون والميثان في الغازات المتصاعدة، وتبلغ نسبتيهما تقريباً ثلث وثلثين على التوالي. ويتكون الجهاز المخبري الشائع من سحّاحة مُحاطة بإطار مائي واقٍ

(Water-Jacketed Burette) وغرف احتراق تحفيزيّة (Catalytic Combustion Chambers)، وسلسلة من وحدات زجاجية تحوي كواشف امتصاص غازات انتقائية لثاني أكسيد الكربون، والأكسجين، وأول أكسيد الكربون. وغرف احتراق تحفيزيّة هي الواقع لحرق الميثان، حيث تسحب عينة غازية يتم تسجيل حجمها الأولي بالسحّاحة. يمرر الغاز المحصور عبر وصلة إلى إحدى وحدات الامتصاص أو عبر إحدى غرف الاحتراق ثم يعود راجعاً إلى السحّاحة مرة أخرى. وبعد بضعة إمرارات عبر إحدى وحدات الامتصاص، تقّاس كمية الغاز المتبقي، ويمكن بعدها حساب النسبة المئوية للمكوّن الغازي في العينة.

المراجـــع

1. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Including Bottom Sediments and Sludges*. 20th ed. Published jointly by American Public Health Association, Washington 2005, American Water Works Association, and Water Works Environment Federation.
2. *National Research Council, 1998, Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water. National Academy Press,* Washington, DC20418.

مسائل

1-2 باستخدام الأوزان الذرية المعطاة في الجدول 2-1، احسب الأوزان الجزيئية والمكافئة لـــ (أ) الشبّة ($Al_2(SO_4)_3.14.3H_2O$)، (ب) وللجير، (ج) ولكبريتات الحديديك المائية ($FeSO_4.7H_2O$)، (د) ولحمض فلوروسيليسيك، (هـ) ولرماد الصودا. (الأجوبة (أ) 600 و100 ، وباقي الأجوبة معطاة في الجدول 2-3).

2-2 ما هي الأيونات التي تتشكل بذوبان المركبات الآتية في الماء: (أ) نترات الصوديوم ، (ب) حمض الكبريتيك، (ج) هيبوكلوريت الكالسيوم، (د) كربونات الصوديوم. (الأجوبة (أ) إلى (ج) أيونات وجذور مدرجة في الجدولين 2-1 و 2-2 ، (د) (Na^+، $CO_3^=$ ، HCO_3^-) اعتماداً على pH.

3-2 تنتج كل المواد الكيميائية المفلورة المدرجة في الجدول 2-3 أيونات الفلور F^- في المحلول. فإذا أضيف 1.0 mg من حمض الفلوروسيليك إلى الماء، فما مقدار زيادة تركيز أيون الفلور؟ (الجواب، الرجوع إلى الجدول 2-7).

4-2 إذا احتوى ماء على 40 mg/l Ca^{++} و 10 mg/l Mg^{++}، ما مقدار عسرة الماء معبراً عنها بـــ mg/l من $CaCO_3$؟ (الجواب 141 mg/l)

5-2 إذا احتوى ماء على 175 mg/l من عسرة الكالسيوم و40 mg/l من عسرة المغنيزيوم، ما هي تركيزات أيونات الـــ Ca^{++} و Mg^{++}؟

6-2 إذا كانت قلوية مياه مكونة من 12 mg/l من $CO_3^=$ و100 mg/l من HCO_3^-، احسب القلوية مقدرة بـــ mg/l كـــ $Ca\,CO_3$. (الجواب 102 mg/l)

7-2 إذا احتوى ماء على 6.0 mg/l من $CO_3^=$ و 45 mg/l من HCO_3^-، كم تبلغ القلوية كـــ $CaCO_3$.

8-2 ارسم مخطط أعمدة (meq/l) ثم دون التوفيقات الافتراضية للمركبات من أجل التحليل الآتي للمياه.

Ca^{++} =	94 mg/l	HCO_3^- =	317 mg/l
Mg^{++} =	24 mg/l	$SO_4^=$ =	67 mg/l
Na^+ =	14 mg/l	Cl^- =	24 mg/l

(الجواب مجموع الكاتيونات والأنيونات يساوي 7.28 mg/l).

9-2 ارسم مخطط أعمدة (meq/l) للتحليل الآتي للمياه.

Ca^{++}	=	mg/l 60	HCO_3^-	=	115 mg/l as Ca CO3
Mg^{++}	=	10 mg/l	$SO_4^=$	=	69 mg/l
Na^+	=	7 mg/l	Cl^-	=	11mg/l
K^+	=	20 mg/l			

10-2 تبدي مياهٌ جوفية مالحة إلى حدٍ ما، الخصائص الكيميائية الآتية:

Ca^{++}	=	108 mg/l	HCO_3^-	=	146 mg/l
Mg^{++}	=	44 mg/l	$SO_4^=$	=	110 mg/l
Na^+	=	138 mg/l	Cl^-	=	366 mg/l

ارسم مخطط أعمدة (meq/l) للتحليل الآتي للماء. احسب عسرة الماء (مصحوبة بأيون البيكربونات)، العسرة اللاكربوناتية، العسرة الكلية، تركيز أيون الصوديوم، والقلوية.

11-2 ارسم مخطط أعمدة (meq/l) للتحليل الآتي للماء ثم دوّن التوفيقات الافتراضية للمواد الكيميائية في المحلول لما يأتي:

عسرة الكالسيوم = 150 mg/l

عسرة الكالسيوم = 56 mg/l

أيون الصوديوم = 8 mg/l

أيون البوتاسيوم = 4 mg/l

القلوية = 190 mg/l

أيون الكبريتات = 29 mg/l

أيون الكلور = 10 mg/l

pH= 7.7

12-2 أضف حمض الكبريتيك إلى ماء وذلك لتحويل كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات الكالسيوم. اكتب المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل، واحسب كمية حمض الكبريتيك بالـ mg/l لتحييد 20 mg/l من كربونات الكالسيوم. (الجواب 9.8 mg/l).

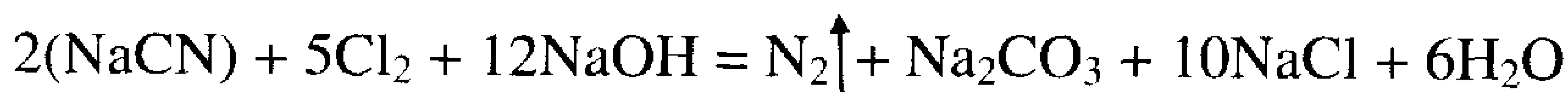
13-2 احسب pH لمحلول يحوي (أ) 10 mg/l من حمض الكبريتيك. (الجواب 4.0).

14-2 احسب pH لمحلول يحوي (أ) 3 mg/l من حمض الكبريتيك و(ب) 1 mg/l من حمض الكبريتيك. $[H^+]$ في المعادلة 2-4 هو التركيز الجزيئي للهيدروجين، والوزن الجزيئي لحمض الكبريتيك بالغرام معطى بالجدول 2-3.

15-2 أضف غاز ثاني أكسيد الكربون إلى مياه تحوي فائضاً من الجير وذلك لتشكيل راسب بيكربونات الكالسيوم. أكتب معادلة متوازنة لتفاعل CO_2 مع $Ca(OH)_2$. احسب كمية ثاني أكسيد الكربون المطلوب للتفاعل مع 35 mg/l من هيدروكسيد الكالسيوم وكمية الراسب المتشكل مقدراً بالـ mg/l. (الجواب المعادلة 7-19، 20.8 mg/l، 47.2 mg/l).

16-2 إذا أضيف مزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الماء في المسألة 15-2، يتحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات الكالسيوم. اكتب معادلة متوازنة لهذا التفاعل، واحسب كمية ثاني أكسيد الكربون بالـ mg/l اللازمة لتحويل 47.2 mg/l من $CaCO_3$ إلى $Ca(HCO_3)_2$.

17-2 تمت معالجة نفايات بشكل صفيحة معدن حاوٍ على سيانيد الصوديوم (NaCN)، ومعالجة كيميائياً بالكلور وهيدروكسيد الصوديوم لأكسدة السيانيد (CN^-) إلى غاز النتروجين وفقاً للتفاعلات الآتية:



$$2(NaCN) + 5Cl_2 + 12NaOH = N_2\uparrow + Na_2CO_3 + 10NaCl + 6H_2O$$

كم باوند من الكلور يلزم لتفكيك باوند واحد من السيانيد؟

2-18 في إزالة عسرة الماء، يضاف محلول الجير $Ca(OH)_2$ لترسيب أيون الكالسيوم، بالترافق مع جذر البيكربونات على شكل $CaCO_3$، اكتب معادلة متوازنة لهذا التفاعل، واحسب كمية الجير "كأكسيد كالسيوم" اللازم للتفاعل مع 100 mg/l من عسرة الكالسيوم. (الجواب المعادلة 7-20)، CaO 56 mg/l.

2-19 المعادلة 2-16 هي تفاعل أكسدة–اختزال يتم فيها أكسدة Fe^{++} عبر خسارة 3 الكترونات بينما يكسب المنغنيز في MnO_4، 3 إلكترونات. اكتب معادلة متوازنة لأكسدة المنغنيز المُذاب Mn^{++} عبر اختزال Mn في MnO_4 لترسيب MnO_2. من ناحية نظرية كم mg/l يمكن لــ 1.0 mg/l من برمنغنات البوتاسيوم أن يؤكسد من المنغنيز؟ (ارجع إلى المعادلة 7-29 والمناقشة في الفقرة 7-18).

2-20 بعد إزالة ملوحة مياه بحر، أضيف الجير وثاني أكسيد الكربون إلى الماء المحلى لتشكيل $Ca(HCO_3)_2$ في المحلول لجعل الماء مستقراً وغير أكّال. اكتب معادلة متوازنة تحوي CaO، وماء، وثاني أكسيد الكربون يتحدان ليشكلا $Ca(HCO_3)_2$. إذا كانت كمية أيون الكالسيوم في الماء المعالجة 45 mg/l، ما هي تراكيز ثاني أكسيد الكربون والجير على شكل CaO الواجب إضافتها؟

2-21 في حركية المرتبة الصفرية، ما هو المتحول الذي يحدد معدل اختفاء المواد الداخلة في التفاعل؟ وما هو المتحول في حركية المرتبة الأولى؟

2-22 إذا تضاعف معدل تفاعل كيميائي لدى درجة حرارة $10^{\circ}C$. أحسب الزيادة في معدل التفاعل الناتجة من زيادة في درجة الحرارة قدرها $5^{\circ}C$. (الجواب 1.42).

2-23 يعتمد غالباً معدل النشاط الحيوي في التهوية الحيوية على درجة حرارة الماء قدرها $15\ ^{\circ}C$. إذا تضاعف المعدل لكل زيادة قدرها $15^{\circ}C$، احسب الزيادة في المعدل لدى درجة حرارة $25\ ^{\circ}C$، والنقص في المعدل لدى درجة حرارة $5^{\circ}C$.

2-24 ما مقدار قيمة الإشباع للأكسجين المذاب (DO) في ماء نقي بدرجة حرارة $15^{\circ}C$عند سطح البحر؟ وما مقدارها على ارتفاع 2000 قدم؟ (الجواب mg/l 10.2، 9.5 mg/l).

2-25 ما مقدار قيمة الإشباع للأكسجين المذاب (DO) في ماء يحوي mg/l 1000 من أيون الكلور بدرجة حرارة $22^{\circ}C$ عند سطح البحر؟ وما مقدارها على ارتفاع 4000 قدم؟

2-26 يرتبط معدل انتقال الأكسجين من فقاعات الهواء إلى المحلول كأكسجين مذاب (DO) مباشرة بعوز DO في الماء يساوي $(C_s\text{-}C_t)$، حيث C_s هو DO عند الإشباع، وC_t هو DO الراهن (ارجع إلى الفصل 11 التهوية وانتقال الأكسجين). فما مقدار عوز الأكسجين عند ظروف إشباع قياسية لدى درجة حرارة $20^{\circ}C$ و C_t = 0 ، وضغط mm 760 زئبق؟ وإذا كانت الظروف الفعلية لانتقال الأكسجين هي $25^{\circ}C$ و C_t =1.0 mg/l على ارتفاع 5000 قدم، فكم تبلغ قيمة عوز DO؟ (الجواب 9.2 mg/l، 7.0 mg/l).

2-27 ارجع إلى منحنى المعايرة في الشكل (2-5 أ) للماء النقي والشكل (2-5 ج) للماء الحاوي على حمض الكربونيك، لماذا يبدي المنحني في الشكل (2-5 ج) حيزاً منحدراً في الجزء المركزي في حين يكون المنحني في الشكل (5-25 أ) شاقولياً في مجال الـــ pH نفسه؟

28-2 تمت معايرة 100 مل من عينة مياه ذات قيمة pH أولية قدرها 7.5 حتى الوصول إلى قيمة 4.5 وذلك باستخدام 16.5 ml من حمض الكبريتيك 0.02 N نظامي. احسب القلوية، وما هي الصيغة الأيونية للقلوية الموجودة في العينة؟

29-2 في المعادلة 2-29 لماذا تبلغ قيمة الثابت 50 000 لحساب القلوية بصورة $CaCO_3$؟

30-2 ما هي الغرويات، ولماذا تكون دقائق الغرويات عصية على الترسب بواسطة الثقالة؟ وكيف تقاس كثافة معلق غروي وما هي وحدات التعبير عنها، (ارجع إلى المقطع المناسب في الفقرة 2-11).

31-2 إن المواد الكيميائية الشائعة لقلقلة استقرار معلق غروي في معالجة المياه السطحية هي الشبّة والبوليمر. كيف تتفاعل هذه المواد الكيميائية مع الغرويات بحيث يمكن إبعادها عبر الترشيح بوسط حُبيبي؟

32-2 كيف يتباين الترتيب البنيوي لعناصر الكربون في المركبات العضوية عن نظيره في المركبات اللاعضوية؟ اعط أمثلة لمواد كيميائية عضوية محددة لبنى مختلفة.

33-2 سمِّ المركبات الآتية: CH_3CH_2COOH، CH_3--NH_2، CH_3CH_2--O--CH_3CH_2. اكتب صيغ المواد الكيميائية الآتية: البروبان، حمض الخليك، خلات الصوديوم.

34-2 صف الفئات الرئيسة الثلاث للتفكك الحيوي للمركبات العضوية.

35-2 اشرح لماذا لا تتحول كامل المادة العضوية في مياه الصرف عبر المعالجة البيولوجية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.

36-2 (أ) لماذا يساوي عامل التحويل بين mg/l وlb/mil gal، 8.34 ؟ حول الوحدات الآتية: (ب) 50 mg/l إلى lb/mil gal، وإلى $lb/mil\ ft^3$، (ج) lb/mil gal

100 إلى mg/l، (د) 5.0 gpg إلى mg/l. (الأجوبة (أ) ارجع إلى الفقرة 2-11، محاليل قياسية، (ب) 417 lb/mil gal، $3120\ lb/mil\ ft^3$ ، (ج) 12.0 mg/l، (د) 86 mg/l.

2-37 استخدمت جرعة قدرها 30 mg/l من الشبّة في معالجة تجهيز مائي قدره 5.0 mgd. كم باونداً من الشبّة يستخدم يومياً؟

2-38 استخدمت جرعة قدرها 0.7 mg/l من الكلور لمياه جوفية ضُخّت من بئر بمعدل 400 gpm، كم باونداً من الكلور تضاف في خلال ساعة تشغيل؟

2-39 إذا استخدمت جرعة قدرها 48.0 باوند من سيليكوفلوريد الصوديوم نقي يحوي 61% من أيون الفلور لــ 3.5 mil gal من الماء، ما هو تركيز أيون الفلور المُضاف؟

2-40 ما هي المواد الكيميائية التي تسبب عسرة الماء وكيف تُقّدر العسرة بالاختبارات المخبرية؟

2-41 ما هو الجهاز المخبري المستخدم لقياس تغير الألوان في تقنيات قياس اللون، سمِّ الاختبارات الأكثر شيوعاً المطبقة في إجراءات قياس الألوان.

2-42 ما هو الغرض من اختبارات الارتجاج؟ كيف تفسر نتائج الاختبار المدرجة في الجدول 2–10 لتقدير كمية جرعة الشبّة لخطة معالجة كاملة؟

2-43 لماذا لا تعتبر الطريقة اللونية باستخدام تقنية (DPD) مُرضِية لقياس الكلور المتبقي في مياه الصرف؟ ما الطريقة التي يجب استخدامها في ذلك؟

2-44 صف خطوات اختبار نتروجين الأمونيا. كيف تم تعديل هذا الاختبار ليتضمن النتروجين العضوي؟ ما هو تعريف نتروجين كيلدال؟

2-45 ضع قائمة بسلسلة الكواشف المستخدمة في تقدير الأكسجين المُذاب عبر تعديل أَزيدْ لطريقة قياس اليود.

2-46 ما هي المواد الصلبة المعلقة في مياه الصرف كما حددت في إجراءات الاختبار المخبري؟

2-47 عرف مصطلح الكربون العضوي الإجمالي (TOC). لماذا يعتبر (TOC) خطراً كامناً على صحة الإنسان في إعادة الاستخدام غير المباشر للمياه المستصلحة بهدف زيادة مصادر التجهيز بالماء؟

2-48 كيف تُكشف مواد الأثر الكيميائية العضوية في مياه الشرب؟

2-49 كيف يُعبر عن تركيز الأحماض العضوية في حمأة الهضم اللاهوائي؟

الفصل 3

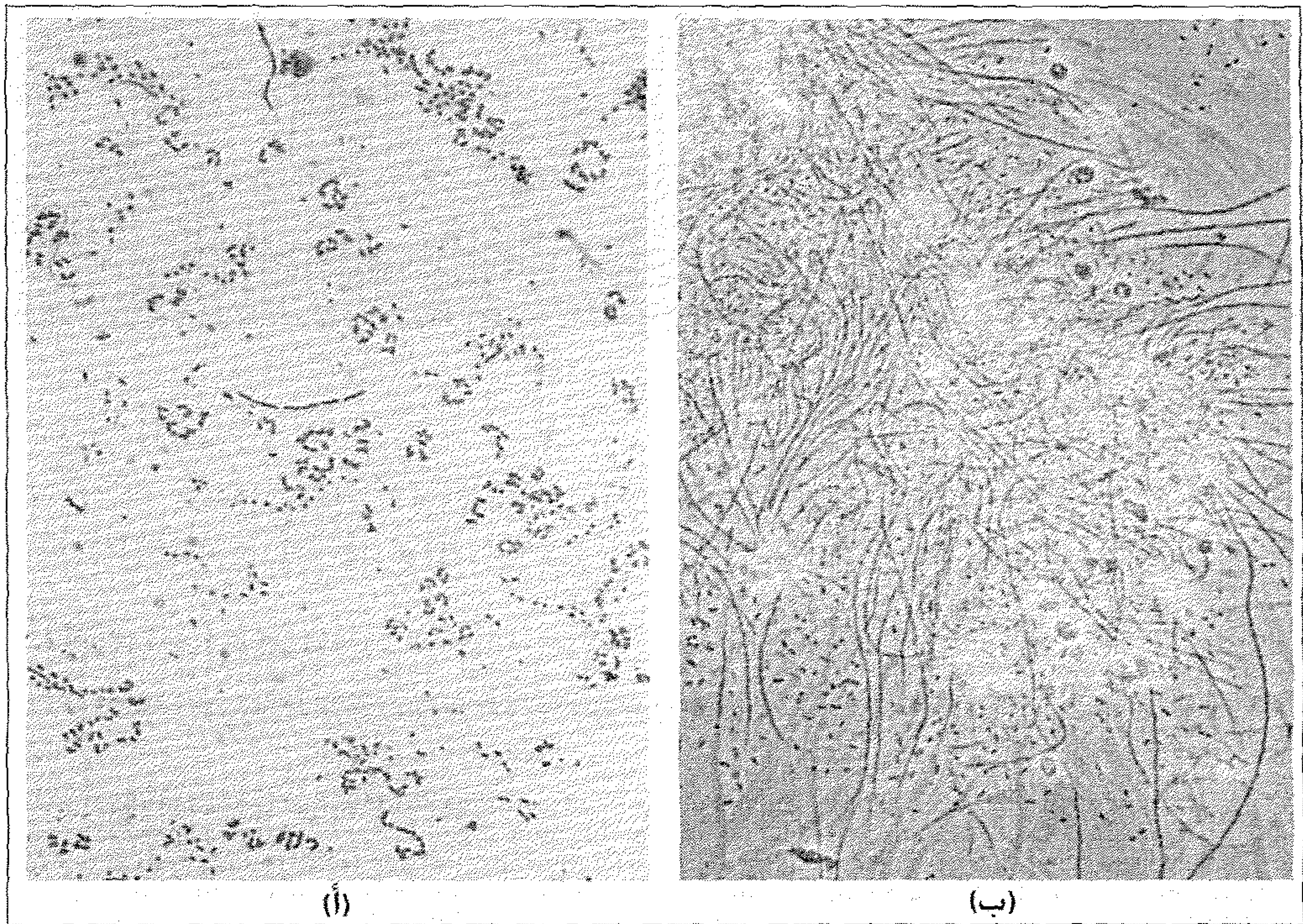
علم الحياة

إن فهم الكائنات الحية – البكتيريا، والفيروسات، والطحالب، والحيوانات وحيدة الخلية والقشريات الرئيسة أمر أساسيّ في التقنية الصحية. إن البكتيريا والحيوانات وحيدة الخلية هي مجموعات الكائنات الحية الدقيقة الرئيسة في النظام الحي التي تُستخدم في المعالجة الثانوية لمياه الصرف. كما يقوم مزيج من مستنبت هذه الكائنات الدقيقة أيضاً بإنجاز التفاعل في اختبار احتياج الأكسجين الحيوي الكيميائي لتقدير قوة مياه الصرف. إن سلسلة الغذاء المائية في المياه الطبيعية بما فيها الكائنات الحية يمكن أن تصاب بكارثة نتيجة التلوّث. تتسبب البكتيريا والفيروسات والحيوانات وحيدة الخلية بالكثير من الأمراض المنقولة بالماء التي يصاب بها الإنسان. وتستخدم كائنات دالة، وبخاصة القولونيات لتقويم نوعيّة مياه الشرب والاستجمام.

3-1 البكتيريا والفطريات

مفرد البكتيريا (Bacterium)، وهي كائنات بسيطة عديمة اللون وحيدة الخلية تُستخدم غذاءً سائلاً، وقادرةٌ على إعادة إنتاج ذاتها بدون الحاجة إلى أشعة الشمس. وبدورها كمحللات، تقوم البكتيريا بدور بيئي لا غنى عنه في تحليل المادة العضويّة في الطبيعة وفي استقرار النفايات العضويّة في محطات المعالجة. تتراوح أبعاد البكتيريا من 0.5 µm إلى 5 µm ولذلك لا يمكن رؤيتها إلا تحت المجهر. يظهر

الشكل (3-1أ و3-1ب) صوراً مجهريةً لبكتيريا مكبّرة 400 مرة. ويمكن للخلايا المفردة أن تكون كروية أو عصوية أو مغزلية الشكل، وقد تظهر منفردة أو مزدوجة أو تشكّل رزماً أو سلاسلَ. ويتم التكاثر البكتيري عبر الانقسام المزدوج، حيث تنقسم كلّ خلية إلى خليتين وتتضج كلّ منهما لتنقسم من جديد. يحدث الانقسام كلّ 15 إلى 30 دقيقة في وسط محيط مثالي ذي وفرة من الغذاء والأكسجين والمواد المغذية الأخرى. وكوسيلةٍ للبقاء تشكّل بعض الأنواع أبواغاً ذات غلافٍ قاسٍ مقاومٍ للحرارة ولنقص الرطوبة ولفقدان التجهيز بالغذاء.



شكل 3-1: صور مجهرية للتراكم البكتيري في مياه الصرف. (أ) تراكم مبعثر للبكتيريا (400 X). (ب) جدائل من خلايا سفيروتيلوس Sphaerotilus المتدافعة

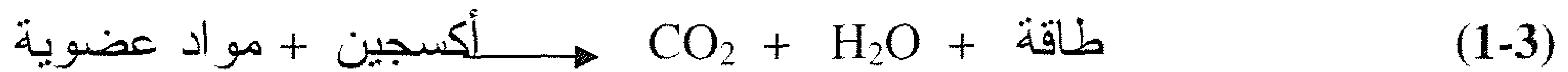
يُستخدم نظام تسمية ثنائي لتسمية البكتيريا والكائنات الحية الأخرى، بحيث تشير الكلمة الأولى منه إلى اسم الجنس والثانية إلى اسم النوع. يوجد في الحمأة المنشطة

النامية في مياه الصرف المنزلية طيفٌ واسعٌ من البكتيريا، معظمها من أجناس ألكاليجينيس (Alcaligenes)، فلافوباكتيريوم (Flavobacterium)، باسيلوس (Bacilus)، سودوموناس (Pseudomonas). ولا يتمّ تحديد هوية أنماط محدّدة في الخثرات الحيويّة إلا بدراسات بحثية، حيث إن عزلها في عمليات المعالجة صعبٌ للغاية وغير ذي قيمة. ومن أكثر المشاكل شيوعاً في المعالجة البيولوجية الهوائية، القابلية الضعيفة لترسيب خثرات الحمأة المنشطة نتيجة التراكم الخيطي والذي ينتج خثرات أكثر قابلة للطفو (الشكل 3-2 أ). وغالباً ما يتسبب بذلك بكتريوم سفيروتيلوس ناتانس (Sphaerotilus natans)، (الشكل 3-1 ب)، إذ تنمو خلاياه محميّةً ضمن كيس، وعند نضجها، تندفع أعدادٌ كبيرةٌ من الخلايا خارج الكيس الواقي باحثةً عن مواقع جديدة للنمو. ولعل بكتيريوم إيشيريشيا كولي (Escherichia coli)، أكثر البكتيريات التي يُشار إليها في التخمر الصحي، وهي قولونيةٌ شائعةٌ تُستخدم كمؤشرٍ على نوعيّة وجودة المعالجة البكتيرية للمياه. تظهر خلايا إيشيريشيا كولي بالفحص المجهري بتكبير 1000على هيئة عصياتٍ قصيرةٍ مفردة.

تصنف البكتيريا في مجموعتين رئيستين ذاتية التغذية وعضوية التغذية اعتماداً على مصدر المواد المغذية، وتستخدم البكتيريا عضوية التغذية، التي يشار أحياناً إليها بالأعفين (Saprophyte)، المادة العضويّة كمصدرٍ للطاقة وللكربون المُستخدم في عملية التركيب الضوئي. تقسم هذه البكتيريا إلى مجموعاتٍ ثلاث اعتماداً على سلوكها تجاه الأكسجين الحر. تحتاج البكتيريات الحيهوائية إلى أكسجين حر ذوّاب في المادة العضويّة المتحلّلة كي تحصل على الطاقة اللازمة للنمو والتضاعف، معادلة 3-1. أما البكتيريات اللاهوائية فتؤكسد المواد العضويّة في غياب كلّي للأكسجين المُذاب المرتبط بمركباتٍ أخرى كالنترات والكبريتات. تكوّن البكتيريات الطفيلية مجموعةً تُستخدم الأكسجين المُذاب الحرّ عندما يكون متاحاً، ولكنها تكون قادرةً على العيش في غيابه وذلك عبر الحصول على الطاقة من التفاعلات

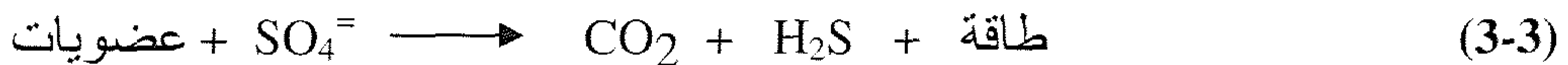
اللاهوائية. وفي أثناء معالجة مياه الصرف، تُصادف العضويات المجهرية الهوائية في الحمأة المنشطة ومرشحات التقطير، أما في هضم الحمأة فتكون العضويات المجهرية اللاهوائية هي المهيمنة. بينما توجد البكتيريات الطفيلية في كلّ من وحدات المعالجة الهوائية واللاهوائية.

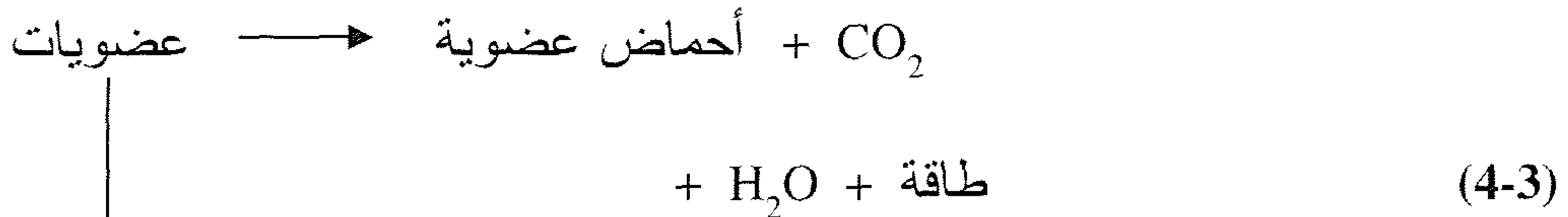
الهوائية:



اللاهوائية:

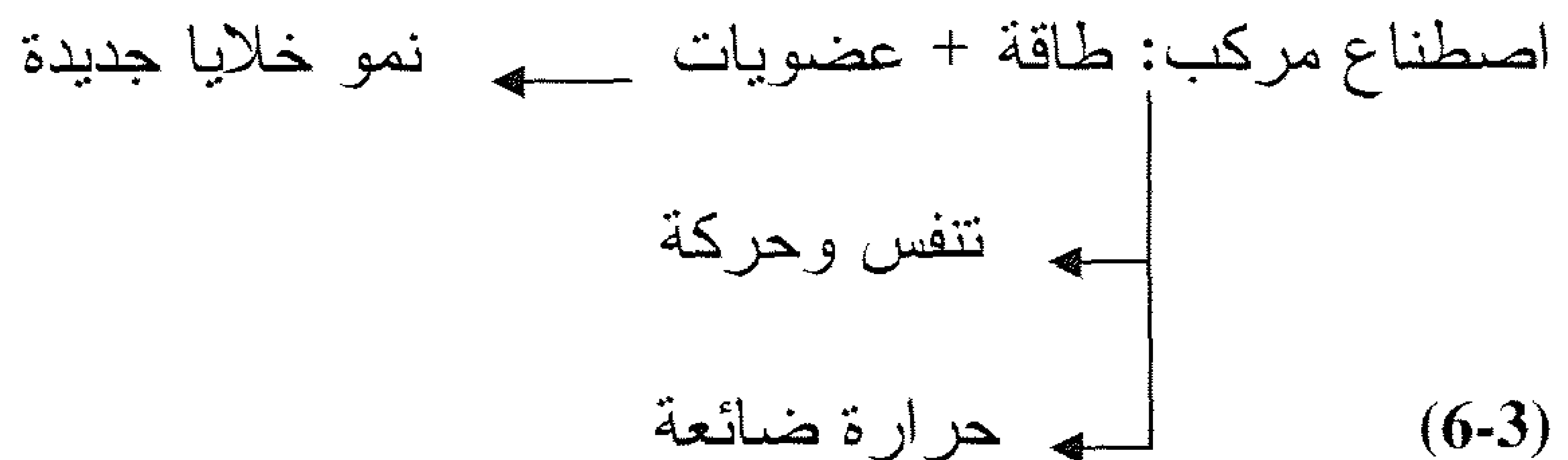


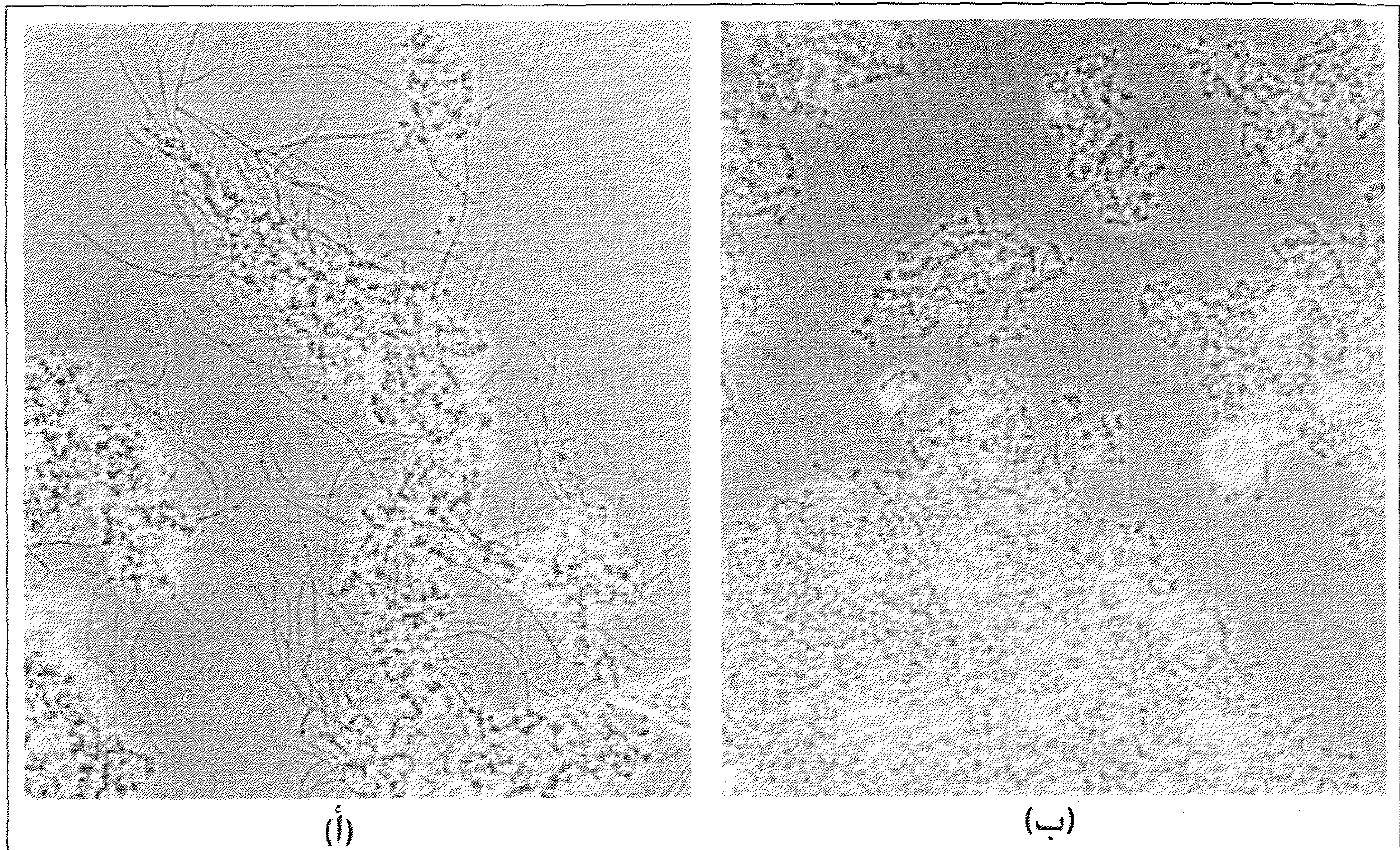






إن السبب الأساسيّ الكامن وراء تحليل البكتيريا عضوية التغذية للعضويات (المواد العضوية) هو الحصول على طاقة لتصنيع خلايا جديدة وللتنفس وللحركة. ويضيع جزء من الطاقة بصورة حرارة، معادلة 3-6.



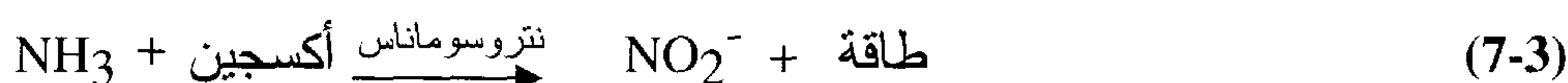


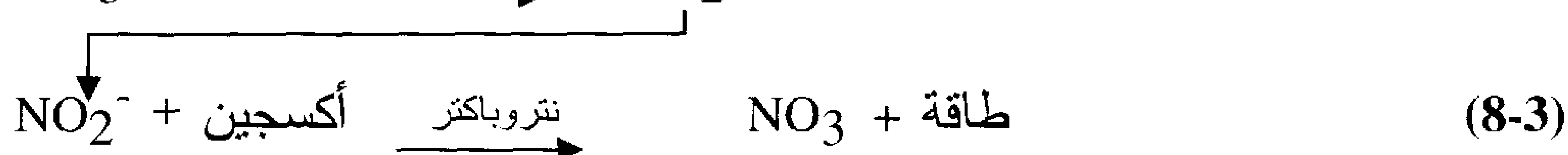
شكل 3-2: صور مجهرية للتخثر الحيوي في معالجة مياه الصرف. (أ) خثرة خيطية (100 X). (ب) خثرة عادية (100 X)

تعتمد كميّة الطاقة المتاحة حيوياً، من كميّة محدّدة من المادة، على مصدر الأكسجين المُستخدم في الأيض. فتتاح أقصى كميّة من الطاقة إن استخدم الأكسجين في الأكسدة (معادلة 3-1)، بينما تنتج أدنى كميّة من الطاقة من أيض لاهوائي مقيّد (معادلة 3-4). تبحث العضويات الدقيقة النامية في مياه الصرف عن أقصى توفر للطاقة كي تصل إلى أقصى اصطناع لخلايا جديدة. فمثلاً لاحظ التفاعلات التي يمكن أن تحدث في عينةٍ مياه صرفٍ جديدةٍ مهوّاةٍ موضوعةٍ في وعاءٍ مغلق. فعلى الفور تبدأ البكتيريا الهوائية والطفيلية بتفكيك عضويات مياه الصرف مستنزفةً الأكسجين المُذاب. وبالرغم من أن الجراثيم الهوائية الكاملة لا يعود بمقدورها الممانعة، إلا أن البكتيريا الطفيلية التي تعمل لاهوائياً يمكنها استخدام الأكسجين المرتبط في النترات محررة غاز النتروجين (معادلة 3-2). وبالتالي فإنّ الأكسجين المتوفر في الكبريتات هو أكثر أكسجين إتاحة (معادلة 3-3) بتحويله إلى كبريتيد الهيدروجين (رائحة البيض الفاسد). وبالتزامن تقوم بكتيريات طفيلية

ولاهوائية بتحليل جزئي للمواد إلى أحماض عضوية، وكحولات ومركبات أخرى، معادلة 3-4، منتجةً أدنى مقدارٍ من الطاقة. فإن وُجدت بكتيريا منتجة للميثان، فستتم عملية الهضم بتحويل الأحماض العضويّة إلى مركبات نهائية غازية مكوّنة من الميثان وثاني أكسيد الكربون (معادلة 3-5).

تؤكسد البكتيريا ذاتية التغذية المركبّات العضويّة للحصول على الطاقة وتستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون. وبكتيريا الكبريت والحديد المنترتة ذات أهميّة كبرى في ذلك، إذ تقوم البكتيريا المنترتة بأكسدة أمونيوم نتروجين إلى نترات عبر تفاعل مكوّن من مرحلتين كالآتي:



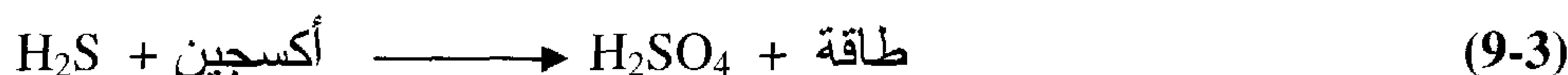


NH_3 + أكسجين $\xrightarrow{\text{نتروسوماناس}}$ NO_2^- + طاقة (7-3)

NO_2^- + أكسجين $\xrightarrow{\text{نتروباكتر}}$ NO_3 + طاقة (8-3)

يمكن أن تحدث النترتة في المعالجة الثانويّة تحت ظروف حمولة عضوية منخفضة ودرجة حرارة دافئة. وبالرغم من أنها توفر مواد مغذية أكثر ثباتاً، إلا أنه غالباً ما يتمّ تجنبها، وذلك بهدف تخفيف استهلاك الأكسجين ومنع تشكّل حمأة طافية على المرشحات النهائية. ويحدث ذلك عندما تطفو المواد الصلبة في الحمأة عبر فقاعات غاز النتروجين والتي تتشكّل نتيجة اختزال النترات.

تقوم بكتيريا الكبريت الشائعة بانجاز التفاعل الموضّح في المعادلة 3-9، والذي يفضي إلى تآكل فعّال في المجارير.

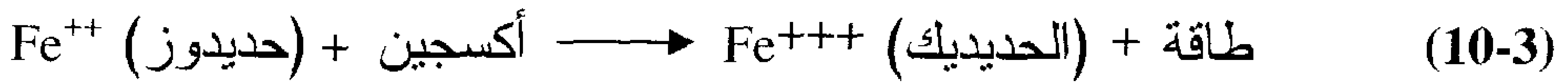


H_2S + أكسجين $\longrightarrow$ H_2SO_4 + طاقة (9-3)

غالباً ما تتعفن مياه الصرف التي تنساب عبر المجارير فتُحرر غاز كبريتيد الهيدروجين (معادلة 3-3). ويتكرر ذلك بأكثر ما يمكن في المجارير الصحية الممتدة بانحدارٍ ضئيلٍ جداً وفي مناخاتٍ دافئة. يتمّ امتصاص كبريتيد الهيدروجين

الموجود في رطوبة التكاثف، وعلى الجدران الجانبية ومقدمة الأنبوب. حيث تقوم بكتيريا الكبريت، والقادرة على تحمل قيم pH أقلّ من 1.0، بأكسدة حمض H_2S الضعيف إلى حمض الكبريتيك القوي باستخدام أكسجين هواء المجارير. يتفاعل حمض الكبريتيك مع البيتون فيخفض قوته البنائية. وعندما يضعف البيتون لدرجة كافية، يمكن للتآكل التسبب بانهياره بتأثير الحمولات الثقيلة التي لم يعد بمقدوره تحملها. إن استخدام مواد أنابيب مقاومة للتآكل كالفخار المزجّج أو بلاستيك PVC هو أفضل وقاية من التآكل في المجارير الصحية. وفي مجمّعات الصرف الكبيرة حيث يتحكم حجمها واقتصادياتها بحجم أنابيب البيتون، يمكن تخفيف تآكل قمة الأنبوب من خلال التهوية بهدف طرد كبريتيد الهيدروجين وتقليل رطوبة التكاثف، أو من خلال معالجةٍ كيميائيةٍ لمياه الصرف في أثناء انسيابها عبر المجارير بهدف ضبط تشكّل كبريتيد الهيدروجين. ويجب الأخذ في الاعتبار وقاية الجدران الداخلية للأنابيب، وذلك إما بطلائها أو بتبطينها.

تؤكسد بكتيريا الحديد ذاتية التغذية، الحديدوز اللاعضوي المُذاب إلى أيونات حديديك غير ذوّاب (معادلة 3-10).



Fe^{++} (حديدوز) + أكسجين ⟵ Fe^{+++} (الحديديك) + طاقة **(10-3)**

ترسب البكتيريا الخيطية (Liptothrix) و (Crenothrix) الحديد المؤكسد $Fe(OH)_3$ في أكياسها لتشكّل وحولاً ألوانها صفراء إلى حمراء. تزدهر بكتيريا الحديد في أنابيب الماء حيث يتوفر الحديد المُذاب كمصدر للطاقة كما تتوفر البيكربونات كمصدر للكربون. وبموت هذه البكتيريا مع الزمن، تتحلل معطيةً طعماً ورائحة كريهتين. ولا يوجد طريقة سهلة وقليلة الكلفة للحدّ من هذه البكتيريا في أنظمة توزيع الماء. إن أكثر الإجراءات وثوقية للحدّ منها هي نزع أيون الحديدوز عبر معالجة الماء، والحدّ من تآكل السطح الداخلي للأنبوب. وكبديلٍ عن نزع

الحديد من الماء عبر برنامج صيانةٍ مستمرّ للأنابيب الرئيسة لمياه المعالجة والتدفّق، يتمّ عزل الجزء المراد معالجته من الأنبوب الرئيس ثم يُضخّ فيه مياه ذات تركيزٍ عالٍ من الكلور أو من أيّ مادة كيميائية قاتلة للبكتيريا. وبعد عدّة ساعات من التماس، يُشطف هذا الجزء ثم يُعاد إلى الخدمة.

مفرد فطريات هو فطر (Fungus)، وتشير الفطريات إلى نباتاتٍ مجهريةٍ لا تقوم بعملية التركيب الضوئي، وهي تتضمّن الخميرة والعفن. تُستخدم الخميرة في التخمير الصناعيّ، إذ تُستخدم في صناعة الخبز وفي التقطير وفي صناعة البيرة. فتحت ظروف لاهوائية تُأيضُ الخميرة السكّر، فيتشكّل الكحول مع تشكّل في الحدّ الأدنى لخلايا خميرة جديدة. بينما تحت ظروف هوائية لا يتشكّل الكحول، ويكون نتاج الخلايا الجديدة من الخميرة أكبر بكثير. ولذلك يستخدم التخمير الهوائي إن كان الهدف تنمية الخميرة اعتباراً من سكر النفايات أو من دبس السكر الخام.

العفن (Molds) فطرياتٌ خيطية تشابه النباتات الراقية في بنيتها المميزة ذات التراكم المشابه لخيوطٍ متفرعة. وهي فطرياتٌ متعدّدة الخلايا ولاهوائية وعضوية التغذية ولا تقوم بعملية التركيب الضوئي، ويكون أفضل تراكمٍ لها في المحاليل الحمضية الغنية بالسكر. ويلاحظ تراكمها بشكلٍ اعتيادي على السطح الخارجي للفاكهة المتحلّلة. ونظراً إلى طبيعتها الخيطية فإنّ العفن في أنظمة الحمأة المنشطة يمكن أن يتسبب بتراجع ترسب الخثرات مما يمنع الفصل الثقالي من مغذيات مياه الصرف في المنقيات النهائية. وغالباً ما يحدث تراكمٌ غير مرغوب به للفطريات في ظروف pH منخفضة تصاحب معالجة نفاياتٍ صناعية ذات محتوى عالٍ من السكر. ومن الضروري إضافة مادةٍ قلوية لرفع الـ pH وأحياناً نتروجين الأمونيوم وذلك لخفض محتوى العفن وتحسين نمو البكتيريا.

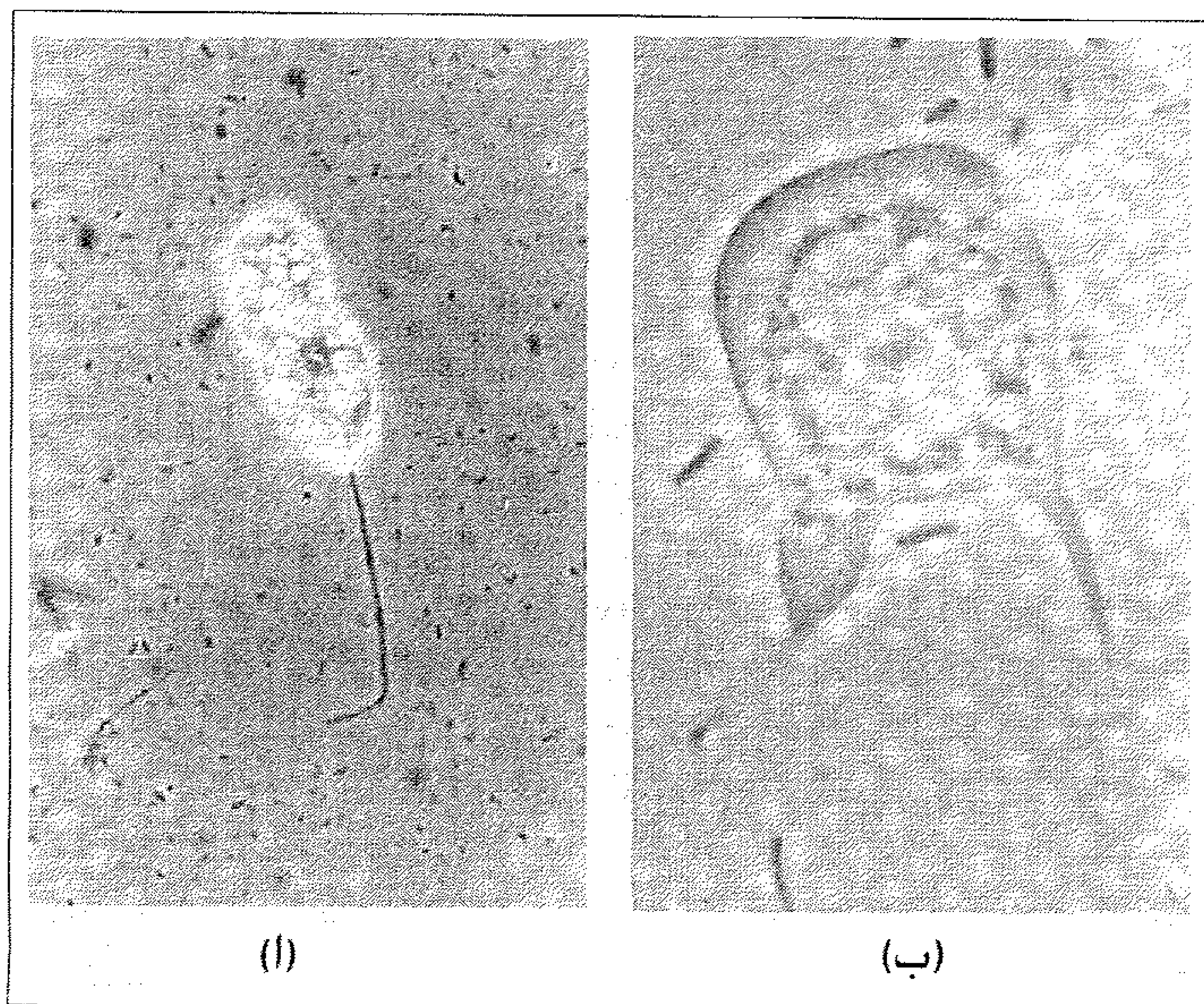
تتضمّن البكتيريا الممرضة المنقولة بالماء بصورة أساسيّة سالمونيللا أس بي بي (Salmonella. spp) و فيبريو كوليرا (Vibrio cholera) وشيجيللا أس بي بي (Shigella. spp). تتمثّل أعراض السالمونيللوز لدى البشر بالتهاب الأمعاء والحمى التيفية وتعفن الدم. ويتميز التهاب الأمعاء بإسهال وارتفاع درجة الحرارة وآلام في البطن وهي أعراضٌ تتراجع عادةً من ذاتها، إذ تستمر لبضعة أيام فقط. ينتج غالباً تفشي المرض المنقول بالماء عن تعقيم غير ملائم أو عن تلوّث في نظام التوزيع. أما الحمى التيفية فتحدث إمّا بسبب س تيفي (S. typhi)، أو بسبب س باراتيفي (S. paratyphi)، ولها أعراضٌ أشدّ خطراً بكثير، من بينها تلفٌ قاتلٌ للكبد أو للطحال أو لجهاز التنفس أو للجهاز العصبي. أما تعفن الدم فيتميز بقشعريرةٍ وارتفاعٍ متقطع في درجة الحرارة وبفقدان الشهية للطعام وبتجرثم الدم. والكوليرا، كمرضٍ ناتجٍ من سوء الأوضاع الصحيّة، قد ينتقل بالماء أو ينتشر بالغذاء الملوّث. وغالباً ما يترافق تفشي الكوليرا المنقولة بالماء مع ماء شربٍ غير معالج، أو أنه قد عُقّم بشكلٍ غير ملائم.

إن انتشار السالمونيللوز المحمول بالماء بواسطة فيبريو كوليرا أو سالمونيللا تيفي غير محتمل في الولايات المتحدة، نتيجة ضبط جودة مصادر الماء، ومعالجة الماء وحماية الماء المعالج في أنظمة التوزيع. تتسبب Shigella spp بآلام بطنٍ حادّةٍ وزحارٍ يتميّز بإسهالٍ وحمّى وغثيانٍ وتقيؤ تشنجي. إن انتشار Shigellosis ينتج عادةً من تلوّث برازي نتيجة تجهيز خاص للماء مستقل عن الشبكة العامة. كما يمكن أن يترافق انتشار المرض مع التعرّض الاستجمامي لبرك سباحة، ولمياهٍ سطحيةٍ طبيعيةٍ ملوّثة بالبراز.

3-2 الابتدائيات والحيوانات متعدّدة الخلية

الابتدائيات (Protozoa) أو (Protozoans) حيوانات مائيّة وحيدة الخلية، مفردها الابتدائي (Protozoan)، تتكاثر بالانقسام المضاعف (الشكل 3-3أ و3-3ب) وذات

نظام هضمٍ معقّد، تتغذى على المواد العضويّة الصلبة كغذاء. والابتدائيات عضويات هوائية تُوجد في الحمأة المنشّطة ومرشحات التقطير وبرك الأكسدة في معالجة مياه الصرف وكذلك في المياه الطبيعية. وبهضمها للبكتيريا والطحالب، فإنّها توفر ربطاً حيوياً في سلسلة الغذاء البحري.



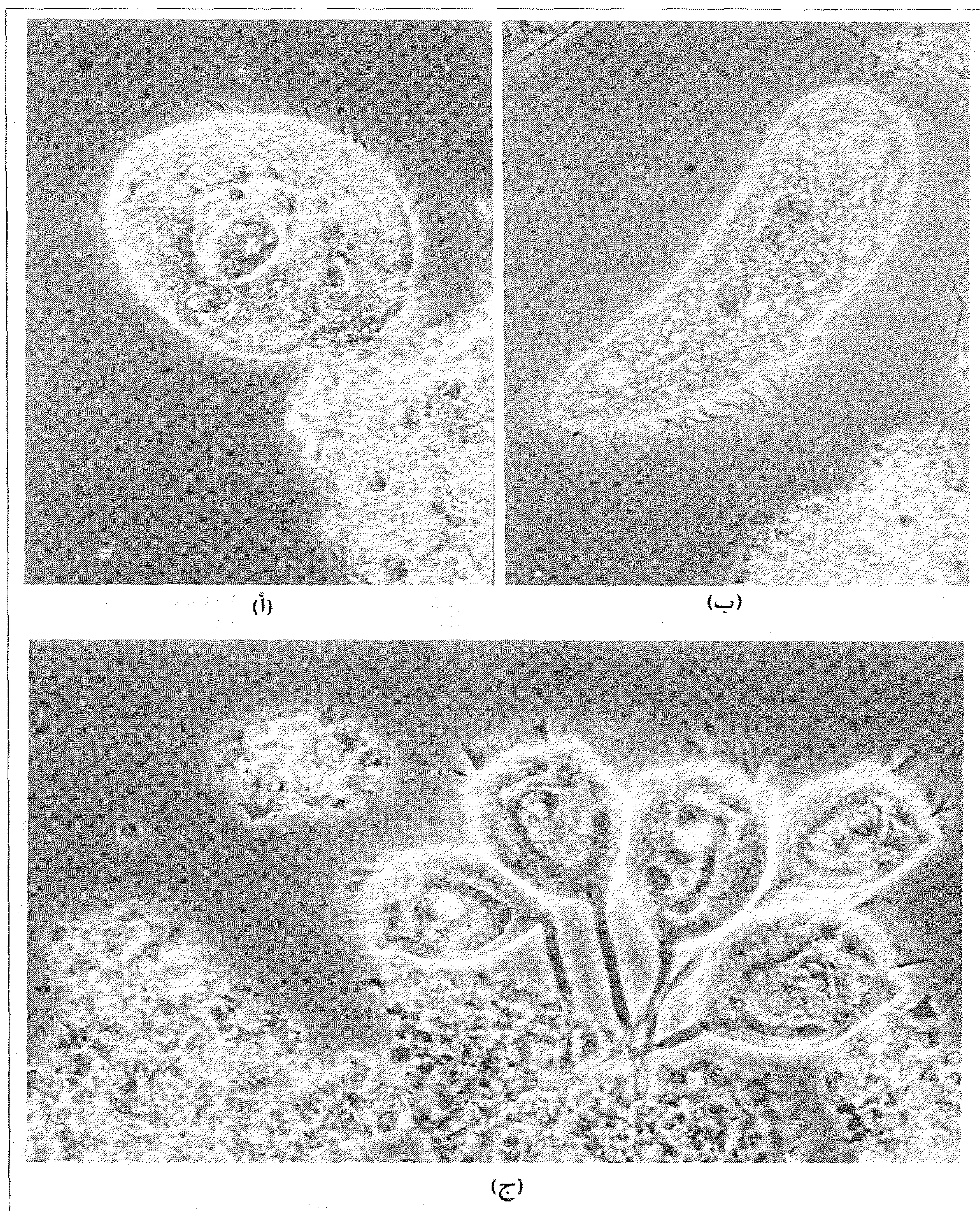
شكل 3-3: صورة مجهرية لابتدائي وجدت في أحواض تهوية مياه الصرف. (أ) ابتدائي سوطي (**1000X**). (ب) متحوّل آميبي، بروتوبلازما قابلة للحركة، (ب) (**1000 X**)

إن الابتدائيات السوطية أصغر أنماط الابتدائيات، إذ يتباين حجمها من 10 إلى 50 µm. تؤمن الأسواط الطويلة الشبيهة بالشعر قدرةً على الحركة شبيهةً بفعل السوط. وفي حين يهضم كثيرٌ منها الغذاء الصلب، تصطاد بعض أنواع الابتدائيات السوطية المواد العضويّة المُذابة. فالمتحوّل الأميبي يتحرك ويصطاد غذاءه عبر البروتوبلازما القادرة على الحركة. يوجد المتحوّل الآميبي في الطبقة الوحلية المغلفة لأوساط مرشحات التقطير وجدران أحواض التهوية، رغم أن هذا الوجود

ليس بشائعٍ في الأشكال الأخرى للابتدائي. والابتدائيات السابحة بحرية (الشكل 3-4أ و3-4ب) ذات أهدابٍ وناميات شبيهة بالشعر تمكّنها من الاندفاع قُدماً وجمع المواد العضويّة. ويمكن ملاحظتها بسهولة في المحضرات المجهرية الرطبة نتيجة حركتها السريعة وحجمها الكبير نسبياً 50 إلى 300 µm، تلتصق الأشكال السويقية (الشكل 3-4ج) بالمواد الصلبة المعلقة بها عبر سويقها وتستخدم أهدابها للاندفاع قدماً ولجلب الغذاء.

الجيارديا لامبليا (Giardia lamblia) والكريبتوسبوريديوم بارفوم (Cryptosporidium parvum) والموجودة على امتداد العالم، هي ابتدائي طفيلية تكمل حلقة حياتها عبر إصابتها لكثير من الأنواع الثديية ومن ضمنها الإنسان[1]. والجيارديا سيست (Giardia cyst) لها شكل دائري إلى بيضوي بأبعاد تتراوح بين 8 و 18 µm طولاً و5 إلى 15 µm عرضاً، وعندما تصبح الجيارديا سيست داخل الجسم المضيف يحرر الكييس تروفوزايت "مجترات" (Trophozoites) تتغذى بنهمٍ وتنمو وتتكاثر مسببةً اضطرابات معديةٍ معويةٍ تتراوح بين عدم ظهور أيّ أعراض، إلى الإصابة بمرضٍ يستدعي العلاج بالمشفى تبعاً لكفاءة المناعة وللحالة الصحيّة للمضيف.

تنتج الجيارديا تروفوزايت (Giardia trophozoites) أيضاً كييسات مقاومة يمكنها الخروج عبر براز المضيف والذي يمكن أن يعدي مضيفاً آخر عبر الطريق البرازي الفموي. وبيوض الكريبتوسبوريديوم (Cryptosporidium) ثخينة الجدران، والتي هي في الواقع مرحلة انتقالية للكريبتوسبوريديوسيس (Cryptosporidiosis)، ذات شكلٍ كروي بنصف قطرٍ قدره 4 الى 6 µm.



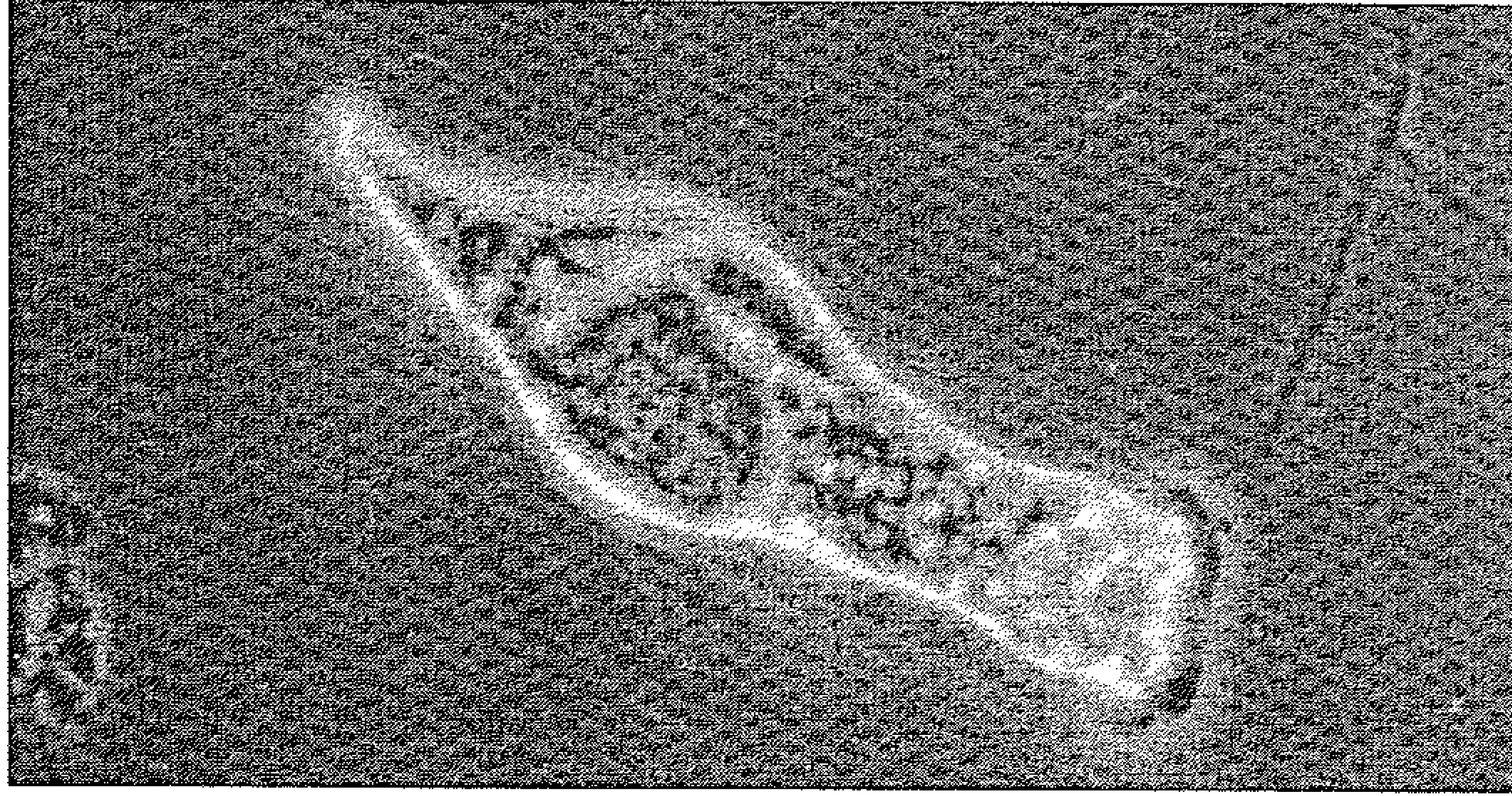
شكل 3-4: صورة مجهرية لابتدائي وجد في أحواض تهوية مياه الصرف، (أ و ب) ابتدائي حر السباحة يوبلوتيس (Euplotes)، (400X) (إلى اليسار)، وبليفارزما (Blepharisma)، (إلى اليمين). (ج) ابتدائي فورتيسيلا (Vorticella)، (400X)

وعند هضمها تنفتح البيوض في الأمعاء الدقيقة محررّةً أحياء بوغية سبورزويتس (Sporozoites) ترتبط بخلايا ظهارية للأمعاء الغليظة وتغزوها وتتطور إلى تروفوزايت. إن أكثر أعراض الكريبتوسبوريديوسيس شيوعاً هي الإسهال المائي الغزير. وهذا المرض خطيرٌ على حياة الأشخاص الذين يعانون عوزاً مناعياً. تُطرح البيوض في البراز ويُمكنها أن تنقل العدوى بالمرض. كما يمكن أيضاً أن تنتقل كييسات الجيارديا وبيوض الكريبتوسبوريديوسيس بالتماس القريب بين شخصين، كذاك الموجود بين أفراد أسرة مثلاً، أو في مؤسسات ذات خدماتٍ صحيةٍ مترديةٍ كمراكز الرعاية الصحية اليومية أو مراكز التمريض. وتُعتبر مياه الشرب أكبر المصادر المستترة الشائعة لانتقال المرض.

إنتامويبا هستوليتيكا (Entamoeba histolytica) هو طفيلي ابتدائي ذو كييسات كروية أبعادها 10 الى 20 µm تتسبب بزحار آميبي عبر الطريق البرازي الفموي. يتمّ الانتقال عبر تماس مباشر بين شخصين أو عبر التعرّض لأطعمة أو لماء ملوثين أو لاستعمال أوعية ملوّثة، بالرغم من أن انتقال العدوى بالماء غير شائع نسبياً. والزحار الآميبي مرضٌ متفشٍ عالمياً وذو عدوى أكثر أعراضها شيوعاً هي الإسهال المتكرر بدرجات مختلفة، غير أن معظم الإصابات بالأنتامويبا هستوليتيكا لا تبدي أعراضاً.

الدولابيات (Rotifers) هي حيوانات هوائية بسيطة متعدّدة الخلية تأيض الغذاء الصلب. يستخدم الدولابي الموضّح في الشكل 3-5 صفين دائريين من الأهداب الرأسية لإلتقاط الغذاء. ورأس الدولابي وقدمه متراكبان ومتداخلان ويتحرك بأسلوب يشبه أسلوب العلقة في حركتها مثبتاً قدمه بسطح ما. يظهر الشكل 3-8 نمطاً لدولابي مع طحلب، مختلف كلياً إذ إنه بلا رأس وقدم متراكبين وبلا ملحقاتٍ أو ذيول. فالكيراتيلا (Keratella) ذو قوقعةٍ قاسيةٍ واقيةٍ، وفتحةٍ شرجية، وعلى الوجه الأمامي هناك ست

أشواكٍ مع أهداب. توجد الدولابيات في المياه الطبيعية وفي برك الاستقرار وفي أحواض التهوية الموسعة تحت حمولات عضوية منخفضة.



شكل 3-5: صورة مجهرية لدولابي (Rotaria) وجد في معالجة لاهوائية لمياه الصرف (200X)

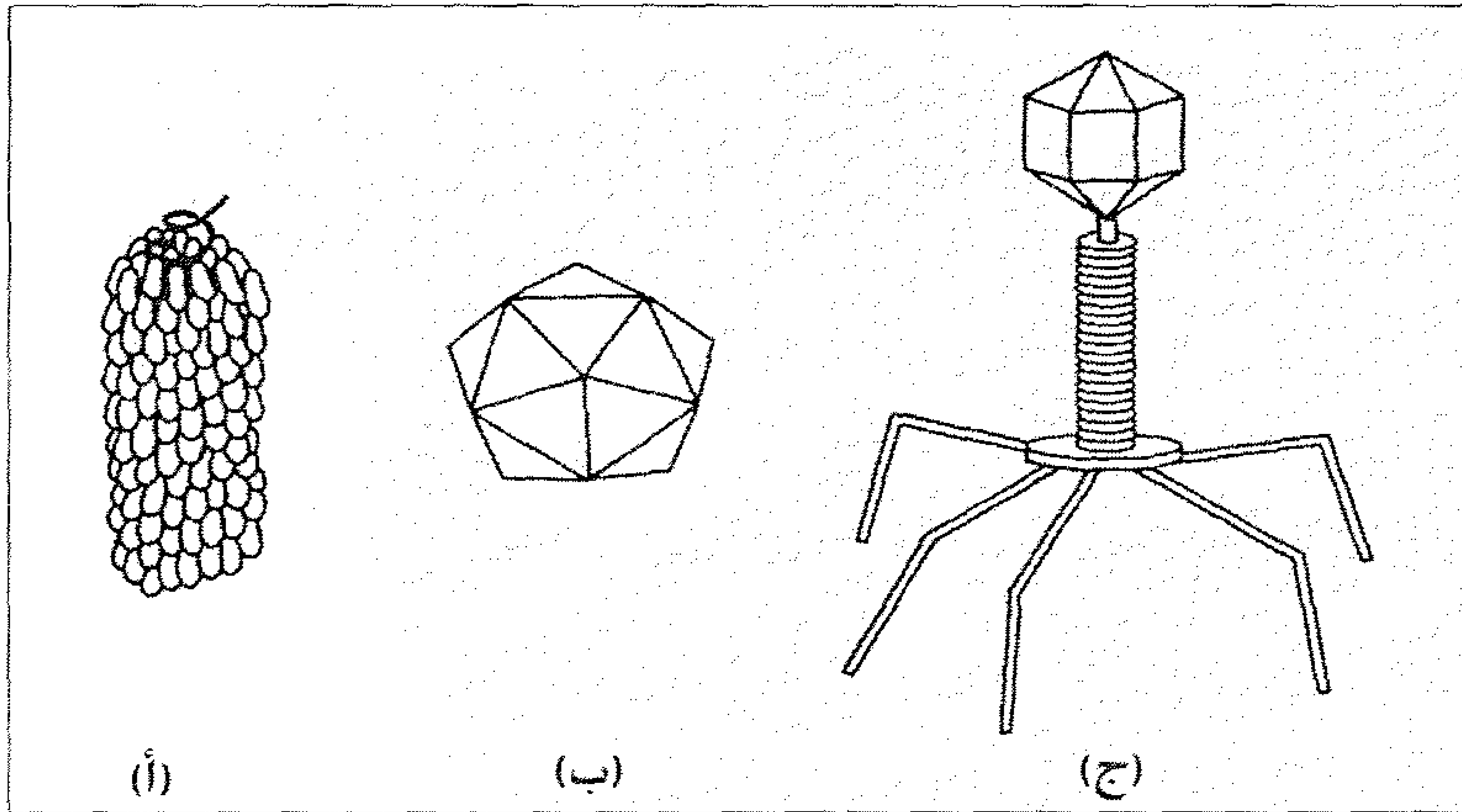
القشريات الدقيقة (Microcrustaceans) حيواناتٌ متعدّدة الخلايا أحجامها النموذجية 2 mm ويمكن رؤيتها بسهولة بالعين المجردة. تتمتع القشريات الدقيقة بقدمٍ متفرعة للسباحة أو بغطاءٍ يشبه القوقعة مع ملحقاتٍ متنوعة. تلعب القشريات الدقيقة في سلسلة الغذاء المائي دور الحيوانات العاشبة، إذ تهضم الطحالب، وبدورها تؤكل من قبل الأسماك. يمكن تحديد معظم الابتدائيات والحيوانات الراقية بالفحص المجهري مع استخدام دليل تمييز كوسيلة مساعدة.

3-3 الفيروسات

الفيروسات (Viruses) طفيليات ضمن الخلايا ذات نمطٍ حياتيٍّ محدّد تتكاثر ضمن المضيف الحي فقط، وتتكون عموماً من حمض نووي وبروتين وتفتقر إلى نظام أيض يمكّنها من إنتاج نفسها بنفسها. ونظراً إلى صغر حجمها لا يمكن رؤيتها إلا بمجهرٍ إلكتروني، ومعظم الفيروسات التي تهم التقنية الصحية ذات حجم يتراوح ما بين 20 إلى 100 نانومتر (ميلي مايكرون)، أيّ ما يعادل جزءاً من خمسين جزءاً من حجم البكتيريا. وكما هو موضّح في الشكل 3-6، فأجزاء الفيروس تكون عموماً لولبية أو

متعدّدة الوجوه أو مكوّنة من مجموعة سطوح متعامدة. والفيروسات التي تؤثّر فقط في البكتيريا تدعى ملتهمات البكتيريا (Bacteriophage) وتبسّط إلى (Phage).

إن دورة إنتاج حياة الفيروس من نمط سطوح متعامدة الملتهم للبكتيريا مكوّنة من ست مراحل كما هو موضّح في الشكل 3-7. ففي مرحلة السبات لا يكون للفيروس أيّ تأثيرٍ متبادلٍ مع ما يحيط به. ويحدث امتصاص الفيروس على جدار الخلية بواسطة اتحاد تكاملي بين موقع الارتباط في جزيئة الفيروس وموقع المُستقبِل على الخلية. وبعد الارتباط يحقن آكل البكتيريا مواد جينية داخل البكتيريا ولكن لا يدخل غلافه البروتيني إلى البكتيريا، بل على النقيض تقوم الفيروسات القوية بتحطيم غشاء الخلية المضيفة وتقتحمها لتنزع غلاف المواد الجينية.

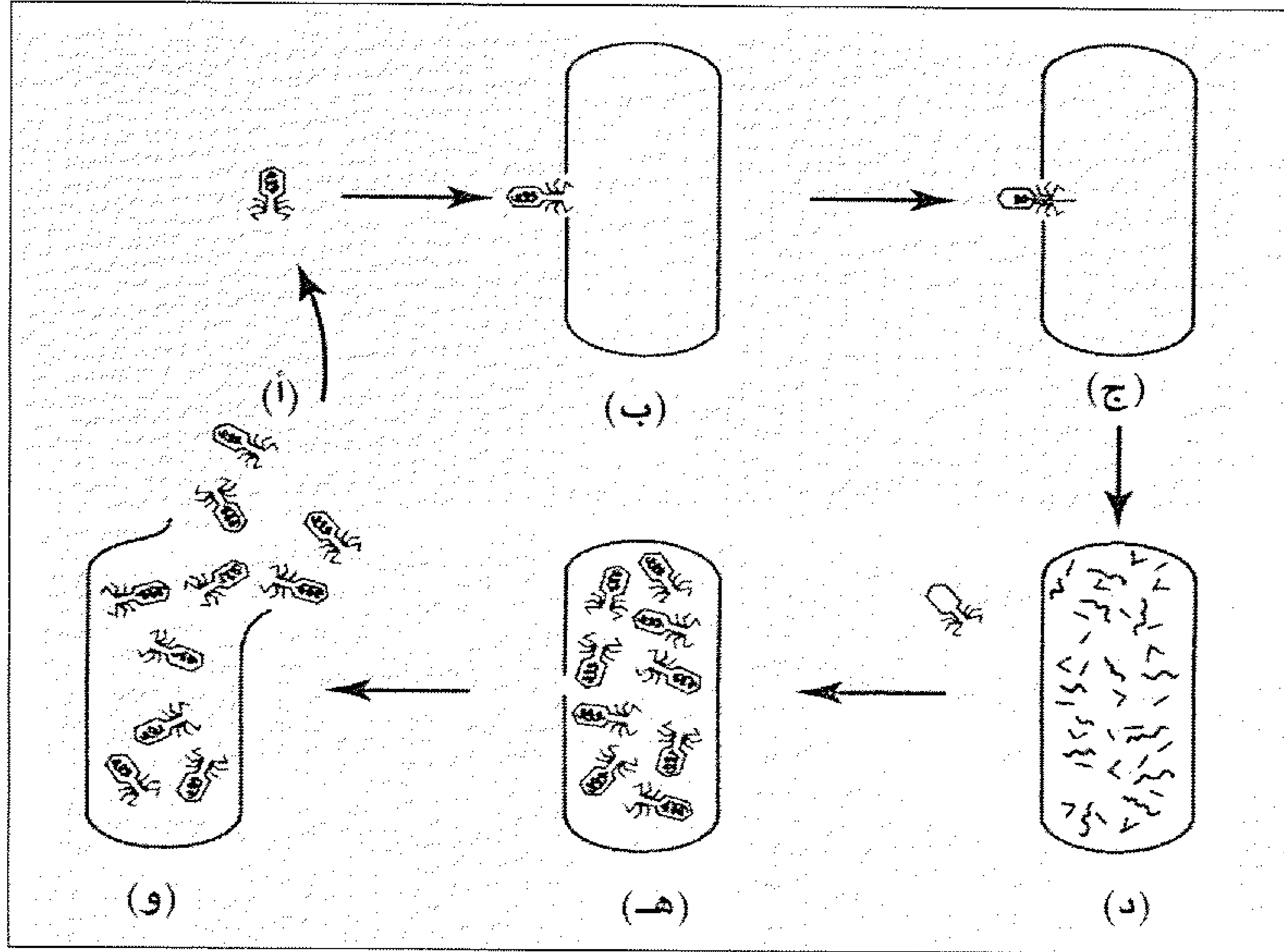


شكل 3-6: أشكال بنيوية نموذجيّة للفيروسات، (أ) لولبي (ب) متعدد الوجوه (ج) تجمّع سطوح متعامدة

وحالما تصبح داخل الخلية تقوم بالسيطرة على أيض الخلية لتنتج بروتيناتٍ فيروسية وأحماض أمينية جديدة. تجمّع عملية النضج التالية الغشاء البروتيني والأحماض الأمينية لتشكّل أجزاء فيروسٍ كاملٍ، وأخيراً ينفتح البكتريوم محرراً فيروسات جديدة. تستغرق الدورة الكاملة للملتهمات التي تصيب البكتيريا بين 30 إلى 40 دقيقة.

إن الفيروسات التي تسترعي الاهتمام هي تلك التي توجد في الأمعاء الدقيقة للإنسان. وحيث إن الفيروسات لا تستقر عادةً في الإنسان فإنّها تُطرح في براز

الأشخاص المصابين والذين يكونون عادةً الأطفال والصغار. والوسائل الاعتيادية لانتقال المرض من شخصٍ إلى شخص هي الطريق الفموي البرازي. بيد أن الفيروسات موجودةً في مغذيات محطات المعالجة التي طُرِحت في المياه السطحية.

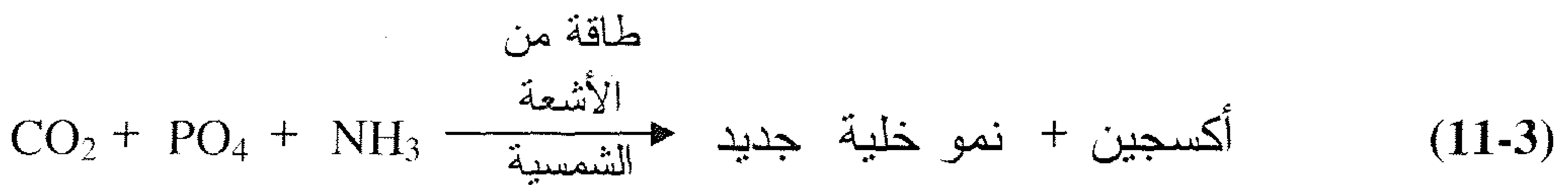


شكل 3-7: حلقة إعادة إنتاج الحياة كما صورت بملتهمات بكتيريا تتسبب بإصابة خلية بكتيرية: (أ) سبات، (ب) امتصاص، (ج) اختراق (د) نسخ جديدة من البروتينات والأحماض النووية، (هـ) نضج و(و) تحرير.

والفيروسات التي وجدت بأعداد كبيرة في البراز البشري هي: أدينوفيروس (Adenviruses) المترافقة مع أمراض العين والجهاز التنفسي، وكاليسيفيروس (Calciviruses) والذي يسبب الإسهال وأمراض المعدة، وإينتيروفيروس (Eneteroviruses) والذي يتضمّن كوكس ساكي (Coxsackie) والإيكوفيروس (Echovirises) والبوليوفيروس (Polioviruses) والتي تتسبّب بطيفٍ واسعٍ من الأمراض بما في ذلك التهاب السحايا والتهاب العضلة القلبية والتهاب الكبد بالفيروس A (HAV) والذي يتسبب بالتهاب كبد وبائي، والذي هو في الواقع التهابٌ حادٌّ في الكبد. لقد أُكِدّ وجو: كلّ الفيروسات المشار إليها كاليسيفيروس وإينتيروفيروس وفيروس التهاب الكبد بالفيروس A في جائحات الأوبئة المحمولة بالماء.

3-4 الطحالب

مفرد الطحالب طحلب (Alga)، والطحالب نباتات مجهرية تقوم بعملية التركيب الضوئي بأبسط الأشكال كنباتاتٍ ليس لها جذور أو سوق أو أوراق. تتراوح أبعادها من خلايا صغيرة مفردة تعطي الماء اللون الأخضر إلى أشكال متفرعة بطولٍ مرئي تبدو غالباً مرتبطة مع الوحول الخضراء. يُستخدم أحياناً مصطلح المشطورات (Diatom) للإشارة إلى طحلب وحيد الخلية موجود في قواقع السيليكا المتآكلة. يظهر الشكل 3-8 طحالب رُشّحت من مياه بحيرة جيدة التغذية، مكبرة 100 مرة. إن آناسيتس (Anacytes)، وآنابينا (Anabaena)، وأفانيزومينون (Aphanizomenon) هي طحالبٌ زرق – خضر ترافق الماء الملوّث. تبدو جدائلٌ طويلةٌ من هذه الأخيرة متجمّعةً مع بعضها للعين المجردة على شكل عشبٍ قصيرٍ مجزوزٍ عندما تكون معلّقة في الماء. أما الأويستس (Oocystis)، والبيديا ستروم (Pediastrum)، فهي طحالبٌ خضر. وهناك مئات الأنواع من الطحالب تتنوع بنية خلاياها بشكلٍ كبيرٍ وتتمتع بظلالٍ لونيةٍ يغلب عليها الأخضر وبشكلٍ أقلّ البني والأحمر. ويتم تحديد الطحالب بالملاحظة المجهرية لخصائصها الأساسيّة. يضم كتاب (*Standard Methods*) رسوماً توضيحية ملونة للطحالب الشائعة مرفق بها وصفٌ لطعمها ورائحتها ولكدرات الفلتر وللمياه الملوّثة والمياه النظيفة وأمور أخرى، وتتمثل عملية التركيب الضوئي بالمعادلة الآتية:



$$CO_2 + PO_4 + NH_3 \xrightarrow[\text{الشمسية}]{\text{طاقة من الأشعة}} \text{نمو خلية جديد} + \text{أكسجين} \qquad (11\text{-}3)$$

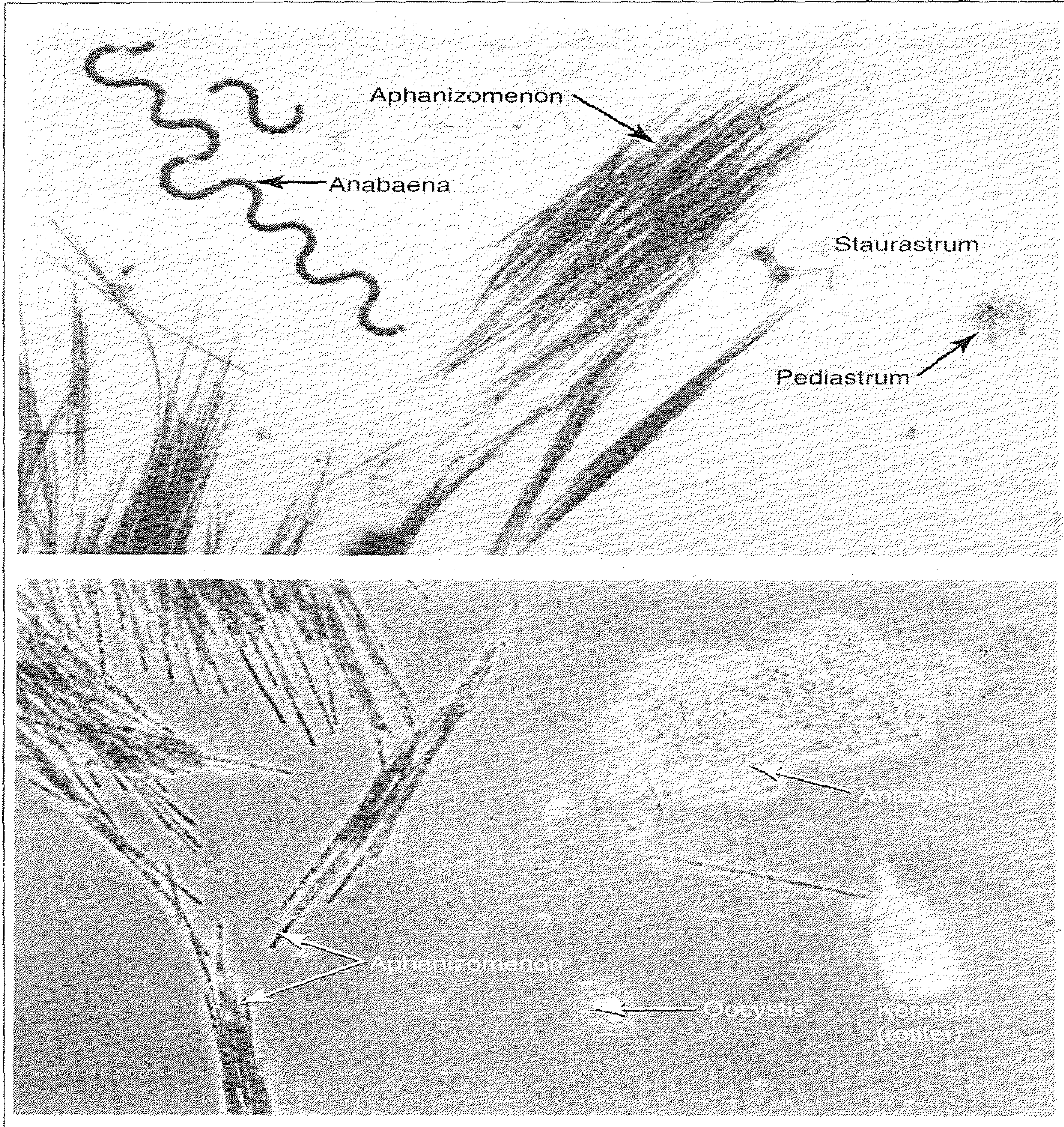
تستخدم الطحالب ذاتية التغذية، ثاني أكسيد الكربون أو البيكربونات كمصدرٍ للكربون والمواد المغذية اللاعضوية كالفوسفات والنتروجين كمصدرٍ للأمونيا

والنترات. إضافة إلى احتياجها إلى مواد أثرٍ مغذّية محدّدة كالمغنزيوم والبور والكوبالت والكالسيوم. وبعض أنواع الطحالب الزرق – الخضر قادرةٌ على تثبيت النتروجين الغازي إذا لم تتوفر أملاح نتروجين لاعضوية.

تكون منتجات التركيب الضوئي تراكماً جديداً للنبات والأكسجين. ويتم الحصول على الطاقة اللازمة للتركيب الضوئي من الضوء. والملونات الأكثر شيوعاً هي الكلوروفيل II ذي اللون الأخضر الذي يقوم بتحويل أشعة الشمس بيوكيميائياً إلى طاقة مفيدة لتراكم النبات والتكاثر. وفي حال عدم توفر أشعة الشمس تُستخدم النباتات بعض المركبّات التي تدخل في التركيب الضوئي التي شُكّلت سابقاً والتي، باتحادها مع الأكسجين، توفّر الطاقة اللازمة لاستمرار بقائها. ومعدّل تفاعل البقاء هذا أبطأ من التركيب الضوئي بشكلٍ ملحوظ.

إن الهدف من التركيب الضوئي إنشاء حياة جديدة للنبات، ومن ثم زيادة عدد الطحالب. فإذا توفرت بيئة مناسبة ومغذيات ملائمة، تنمو الطحالب وتتكاثر بوفرة.

وقد تتسبب الطحالب الموجودة في المياه الطبيعية بعكورتها بسبب حجبها لأشعة الشمس. وتحدّ درجات الحرارة المنخفضة خلال فصل الشتاء أو الافتقار إلى مغذيات، من نمو الطحالب. تميل بعض البحيرات الجبلية الصافية والباردة إلى تعزيز نمو بعض الطحالب، بينما تبدي بحيرات الماء الدافئة الغنية بالنتروجين والفوسفور القادمين من الجريان السطحي أو مياه الصرف نمواً كثيفاً للطحالب منتجة مياهاً مخضرة عكرة في أثناء موسم نمو الطحالب. تعزّز برك استقرار مياه الصرف ازدهاراً غزيراً للطحالب إلى حدٍ تكتسب فيه المعلّقات ظلاً ذاتياً، بحيث لا يمكن تمثّل مغذيات النتروجين والفوسفور والكربون بالتركيب الضوئي نتيجة العكورة الناتجة عن حجب الطحالب لأشعة الشمس.



شكل 3-8: صورة مجهرية لطحلب مرشح من مياه بحيرة حسنة التغذية، (تكبير 100X)

5-3 الأمراض المنقولة بالماء

ينتقل الكثير من الأمراض المعوية المعدية عبر فضلات البراز. تتضمن المُمرضات (Pathgens) (عوامل مسببة للمرض في براز شخص مصاب) كلّ الأنواع الرئيسة: الفيروسات، البكتيريا، الابتدائيات والديدان الطفيلية. وأكثر ما تسود الأمراض الناتجة منها في تلك المناطق من العالم التي لا يجري فيها صرفٌ صحيّ للبراز البشري ومعالجة مياه الشرب بشكلٍ ملائم.

ويتم الانتقال عبر دخول براز شخصٍ مصاب إلى فمّ شخص آخر. هذا الانتقال من الشرج إلى الفم الذي يصطلح عليه بالطريق البرازي الفموي، قد يكون مباشراً عبر الأصابع أو غير مباشر عبر الطعام أو الماء. وقد يُصاب بعض الأشخاص ببراز حيواناتٍ مصابة أو عبر حشرةٍ ناقلة أو باستنشاق الغبار أو قطرات العوالق، وبشكلٍ أقلّ عبر الديدان الخطافية التي تخترق البشرة. تتباين قدرة انتقال المرض بتباين أنواع المُمرضات بينما ينقل البشر كافة الأمراض المعوية. ويمكن التوصل إلى مكافحةٍ فعّالة للمرض بإرساء برنامجٍ صحيٍّ بيئيٍّ شاملٍ يتضمّن النظافة الشخصية والمنزلية، ومكافحة الذباب ومختلف أنواع الحشرات، ومراقبة معالجة الغذاء، طرحاً ملائماً للنفايات، وحماية مصادر الماء ومعالجة مياه الشرب وتحصين الناس من الأمراض أنّى أمكن، ومعالجة الأشخاص المصابين.

المُمرضات المُفرزة في البراز البشري

تعتمد أنواع وتركيز المُمرضات في مياه الصرف المنزلية لتجمّع ما، على صحة السكان أيّ على المُمرضات المفرزة في البراز البشري.

والفيروسات عبارة عن طفيليات ضمن خليوية ذات نمط حياتي محدّد تتكاثر فقط ضمن الجسم الحي المضيف (الفقرة 3-3). يحتوي البراز البشري على 140 نمط لأمصال الفيروسات. وقد أُدرجت في الجدول (3-1) المجموعات الأكثر احتمالاً للانتقال بالماء مع الأمراض المرافقة لها ولقابليتها على الانتقال. و قد لا يمرض بالضرورة الأشخاص المصابين نتيجة هضمهم الفيروس، لكن قد يغدو المرض محتملاً في الأشخاص المصابين بأيٍّ من فيروسات المكورات المعوية. تتسبب الفيروسات المذكورة أمراضاً عدّة تصيب النظام العصبي المركزي، وبشكل أكثر ندرة الجلد والقلب. ويُعتبر فيروس التهاب الكبد بالفيروس (A) على وجه الخصوص من أخبث الأمراض. ومن أعراضه فقدان الشهية، الوهن، الغثيان والشعور بالألم. وأبرز سمةٍ مميزةٍ له هي اصفرار لون يظهر في بياض العين والجلد، ومن هنا جاء اسم المرض

اليرقان الأصفر. إن انتشار مرض التهاب الكبد بواسطة الماء مؤكّدٌ وموثّق، ولكن لم يسبق في الولايات المتحدة أن حدث ذلك في أنظمة الماء المنزلي.

البكتيريات (Bacteria) كائنات مجهرية وحيدة الخلية قادرةٌ على إنتاج ذاتها بذاتها (الفقرة 3-11). ويحوي البراز البشري على عددٍ منها يتراوح بين 1 مليون و1000 مليون في كل غرام من مجموعات البكتيريا الآتية: البكتيريا المعوية (Enterobacteria)، إينتيروكوكي (Enterococci)، لاكتوباسيلي (Lactobacilli)، روستريديا (Rostredia)، بكتيرويدز (Bacteroids)، بيفيدوبكتيريا (Bifidobacteria)، يوبكتيريا (Eubacteria). وتعتبر الإيشيريشياكولي أكثر القولونيات البرازية شيوعاً في مجموعة البكتيريا المعوية. والإسهال هو العارض الرئيس في كثير من الأمراض البكتيرية المعدية. وأكثر الأمراض البكتيرية المنقولة بالماء الحمى التيفية التي يسببها سالمونيللا تيفي، والكوليرا التي يسببها (فيبريو كوليرا) والزحار العصوي الذي يسببه (شيجيللا ديزنتاريا). والتيفوئيد مرضٌ معدٍ شديد الخطورة يتميز بحمى مرتفعة مستمرة، والتهاب الطحال والجهاز المعدي المعوي والدم. تتضمّن أعراض الكوليرا الإسهال، والغثيان والجفاف. يتسبب الزحار بالإسهال وببرازٍ دامٍ وأحياناً بحمى.

جدول 3-1: المُمرضات النموذجية التي يتمّ طرحها في البراز البشري

المجموعة الممرضة والاسم	المرض المصاحب	فئة القابلية على الانتقال
فيروس		
أدينوفيروس (غددية)	التهاب جهاز التنفس والعين	I
كاليسيفيروس	إسهال	I
إينتيروفيروس (معوية)		
بوليوفيروس (شلل الأطفال)	التهاب سحايا، شلل أطفال	I
إيكوفيروس	التهاب سحايا، إسهال، التهاب	I
كوكساكي فيروس	التهاب سحايا، قوباء، التهاب	I

هيباتيتيس (A) التهاب الكبد	التهاب الكبد الوبائي	I
فيروسات أخرى	التهابات معدية ومعوية، إسهال	I
بكتيريا		
سالمونيللا تيفي	حمى تيفية (تيفوئيد)	II
سالمونيللا بارا تيفي	حمى بارا تيفية	II
سالمونيللا أخرى	التهابات معدية ومعوية	II
أنواع الشيجيللا	زحار عصوي	II
فيبريو كوليرا	كوليرا	II
فيبريو أخرى	إسهال	II
يرسينيا إتيريوكوليتيكا	التهابات معدية ومعوية	II
ابتدائيات		
جيارديا لامبيليا	إسهال	I
أنواع الكريبتوسبوريديوم	إسهال	I
اينتامويبا هستوليتيكا	زحار أميبي	I
ديدان معوية		
أنسيلوستومادودينيل	أنسيلوستوما	III
أسكاريس لومبريكويد (دودة	اسكاريسيس	III
هيمينوليبيس نانا (دودة قزمة)	دودة قزمة	I
نيكاتور أمريكانوس	أنسيلوستوما	III
ستونغيلويدس ستيركوراليس	دودة خيطية	III
تريكوريستريكيورا (دودة	دودة سوطية	III
I غير كامنة، جرعة معدية منخفضة		
II غير كامنة، معدية متوسطة إلى عالية، (ممانعة) عصية على العلاج نوعاً ما		
III كامنة، عصية على العلاج		

تسبب كلّ هذه الأمراض ضعفاً قد يفضي إلى الوفاة إن لم تعالج. يتمّ الانتقال بواسطة التماس المباشر، والطعام، والحليب، والمحاريات، والماء. وبالرغم من أن

هذه الأمراض مازالت سائدة في الدول النامية ومسؤولة عن ملايين الوفيات تاريخياً، فإنّها قد استُئصلت افتراضياً في الولايات المتحدة عبر المكافحة البيئية وتعقيم الحليب وكلورة التجهيز بالماء. وبالرغم من ندرة هذه الأمراض في الولايات المتحدة فإنّ تفشي الأمراض المعوية فيها يُعزى إلى زحار الشيجيلا بينما يرجع التهاب الأمعاء إلى السالمونيلا. وهذا الأخير مرضٌ ناتج من التهاب الغشاء المبطن للمعدة والأمعاء. والابتدائيات التي تصيب الإنسان عبارة عن طفيليات معوية تتضاعف في المضيف وتوجد في شكلين.

تلتصق التروفوزايت بجدار الأمعاء حيث تتغذى وتتكاثر بنشاط. وفي بعض فترات حياة التروفوزايت تتحرّر وتعوم في الأمعاء وتقوم بتحوّل مورفولوجي إلى كييس أو إلى بييضة غير ناضجة حمايةً لنفسها من البيئة القاسية خارج المضيف. والكييس هو الشكل المعدي للأشخاص الآخرين بانتقاله عبر الطريق البرازي الفموي. ويكون حجم الكييسات غالباً بين 5 و 15 µm ما يجعلها أكبر على نحو معتبر من البكتيريا المعوية. إن الأمراض الشائعة كالإسهال والزحار تنتج بسبب ثلاثة ابتدائيات ممرضة مدرجة في الجدول 3-1. تتسبب اينتامويبا هستوليتيكا بزحارٍ أميبي يوهن المضيف البشري بشكلٍ شديد. يشيع الزحار الأميبي في المناخات الإستوائية بينما يعتبر غير قابل للانتقال في المناخات المعتدلة. وعلى النقيض فإنّ الجياردياسيس والكريبتوسبوريديوسيس أمراضٌ ذات انتشار عالمي، وتحدث جائحاتها المنقولة بالماء في الأنظمة المشتركة في الولايات المتحدة.

يتميز المرض الناجم عن الجيارديا لامبليا بإسهالٍ يدوم عادةً أسبوعاً أو أكثر وقد يصحبه تشنجات بطنية وانتفاخ وتطبل ووهن وفقدان الوزن. وتبعاً لكفاءة جهاز المناعة والحالة الصحية للشخص المريض فقد تتسبب بتباينٍ مستمرّ عن مرض الإسهال العادي ما قد يتطلب إسعافه إلى المستشفى. وتكون فترة الحضانة في المضيف قبل ظهور المرض بين أسبوع وأسبوعين. وللجيارديا سمة فريدة تتمثّل

بانتقالها إلى الإنسان عبر حيوان السمور الذي يلعب دور المضيف المضخم لأعداد الجيارديا. ففي المناطق الجبلية يُصاب السمور بالجيارديا نتيجة التلوّث الصاعد باتجاه منبع النهر بالبراز البشري الحاوي على الجيارديا لامبليا. تعيد حيوانات السمور المصابة ملايين الكييسات إلى الماء مقابل كلّ كييس تمّ هضمه، مضاعفاً بذلك أعداد كييسات الجيارديا في الماء الجبلية الصافية. يمكن لمرحلة كييسات الجيارديا غير الفعالة في دورة حياة الابتدائيات لفترة طويلة في الماء، مع فترات بقاء على قيد الحياة في المياه الباردة أطول. بعد هضم الكييسات، تخرج التروفوزات من الكييسات لتصيب أمعاء المضيف. ومعظم تفشي الجيارديا في الولايات المتحدة يحدث في المنتجعات وفي البلدات الواقعة على ضفاف مجاري الأنهار في المناطق الجبلية حيث لا يتمّ ترشيح التجهيز بالماء أو أنه قد تمت تصفيتها إنما دون تخثر كيميائي مناسب قبل الترشيح.

أما الأمراض التي تسببها أنواع الكريبتوسبوريديوم فهي الإسهال الشديد والإسهال المائي بدرجات متباينة من الحدة بحيث لا يُعرف علاجٍ فعّال شافٍ لها. ويعاني كثير من الأشخاص أعراضاً خفيفة وغير واضحة، بينما يمتد الإسهال لدى بعض آخر لفترةٍ طويلة مصحوباً بنقصٍ في الوزن. وفي الأشخاص الذين يعانون أعراض العوز المناعي، يمكن أن يتسبب الإسهال بجفاف مهدد لحياتهم.

لقد وُجدت بيوض الكريبتوسبوريديوم في المياه السطحية الملوّثة بالميله الناتج من غسل قطعان الماشية أو بتبرز الأغنام في الماء. لذا قد تسهم قطعان الماشية التي ترعى في مناطق التخوم المائيّة في انتقال الكريبتوسبوريديوسيس. وفيما يتعلق بكييسات الجيارديا، فإنّ بيوضها مقاومةٌ جداً ويمكنها البقاء لفتراتٍ طويلة تصل إلى بضعة شهور في المياه السطحية الباردة. لقد تفشى الكريبتوسبوريديوم المنقول بالماء في أنظمة المياه العامة في الولايات المتحدة في حالة موثقة في تجمّعات مجهزة بمياه سطحية مرشحة. ففي أحد الحالات أصيبت نسبة مرتفعة من تجمّع يبلغ عشرات الألوف مخدّمٍ بنظام تجهيزٍ مائي، بالحمى والإسهال وتشنجاتٍ معوية. لقد تمّ كشف

بيوض الكريبتوسبوريديوم في المياه المعالجة وفي براز المرض، ولم تكن المُمرضات الأخرى البكتيرية أو الفيروسية أو الطفيلية مسؤولة عن انتشار المرض. فلقد كان اختبار القولونيات سلبياً في كلّ عينات المياه المعالجة في نظام التجهيز بالماء. لقد كان المصدر المحتمل لتلوّث التجهيز بالماء الأولية، تداخل مياه صرف مجرور في منهل المحطة في أعالي النهر. لقد عُزي مرور البيوض عبر عمليات التخثر الكيميائي والترشيح، إلى توقف المخثّرات الميكانيكيّة عن العمل وإلى عدم كفاية الترشيح نتيجة تعطّل الأجهزة والتشغيل غير السليم. وفي حالة ثانية نقلت التقارير إصابة بضعة آلاف من أصل مليون شخص مخدمين بمياه سطحية معالجة، بمرضٍ معدي معوي. لقد تمّ تحديد بيوض الكريبتوسبوريديوم في المياه الخام وفي المياه المعالجة. لقد نسب عجز التخثير الكيميائي والترشيح المناسبين إلى التشغيل غير الملائم بصورة رئيسة. وكانت التوصيات رفع فاعلية المعالجة إلى حدها الأمثل عبر تحسين التخثر الكيميائي، وتقصير فترة صلاحية المرشحات، وإنقاص عكورة الماء المرشح، واختبار احتواء المياه على بيوض الكريبتوسبوريديوم (ارجع إلى الفقرة 7-15 للمناقشة الشاملة لتعقيم تجهيز المياه السطحية).

إن الكثير من حالات الجياردياسيس والكريبتوسبوروديوسيس التي أُبلغت وكالات مكافحة الأمراض بها كانت انتقال المرض من شخصٍ إلى شخص في مراكز الرعاية الطبية اليومية. إن الافتقار إلى معاينة متكررّة صحيّة لأفواه الأطفال المصابين بالإسهال يمكن أن يفضي إلى انتشارٍ سريعٍ للمرض في مراكز الرعاية الطبية اليومية، وكذلك في البيوت. لقد وُجد أيضاً أن هذه الأمراض يمكن أن تتسبب بما يسمى إسهال المسافرين، والذي يحدث غالباً تناول طعام ملوّث أو شرب مياه سطحية غير معالجة في الدول النامية. وينبغي تمييز أنواع هذه الحالات عن حالات تفشي المرض المحمول بأنظمة الماء العامة.

والديدان الطفيلية والديدان الطفيلية المعوية لا تتضاعف في جسم المضيف البشري (باستثناء الاسترونجلويدز (Strongyloids)، وبالتالي فإنّ الدودة المحمولة

في شخصٍ مصاب تُربط مباشرة بعدد البيوض المعدية التي تمّ هضمها. وحمولة الديدان ترتبط أيضاً بحدة أعراض المرض في الشخص المصاب، حيث يتمّ طرح البيوض في برازه. ويمكن لمعظم الديدان المدرجة في الجدول 3-1 أن تنتقل بهضم الماء أو الطعام الملوّث بعد فترة حضانةٍ قدرها بضعة أيام. تعيش الديدان الخطافية في التربة، وبعد طرحها تغدو معدية للإنسان باختراقها الجلد. ويمكن أن تتبدى أعراض الإصابة الشديدة بمرض الديدان في فقر الدم والاضطرابات الهضمية والآلام البطنية والوهن. وأطوال بيوض الديدان تكون عادةً بين 40 و 60 µm وتكون كثافتها أعلى من كثافة الماء.

العوامل المؤثرة في انتقال الأمراض

تتحكم فترة حضانة المُمرضات وقدرتها على البقاء وجرعتها، بمدى انتقال الأمراض المنقولة بالماء. وفترة الحضانة هي الفترة الزمنية الفاصلة بين طرح العناصر المُمرضة وتحوّلها لتغدو معديةً لمضيفٍ آخر. وما من فيروس أو بكتيريا أو ابتدائي يتمتع بفترة حضانة. أما الديدان فإنّ قلة منها فقط، من تنتقل بيوضها أو يرقاتها إلى البراز متسببة بعدوى مباشرة للإنسان، أما معظمها فيتطلب فترات حضانة، تحتاجها البيوض إما لتطور مرحلة معدية، أو لتدخل في وسيط لتكمل حلقات حياتها. فدودة أسكاريس لومبريكويدس لها فترة حضانة قدرها 10 أيام.

جرعة العدوى هي عدد الكائنات الجرثومية التي ينبغي هضمها لتسبب المرض. تكون عادةً الجرعة الدنيا الفعّالة للفيروسات والابتدائيات منخفضةً وأقلّ من تلك التي للبكتيريا، غير أنه يمكن لبيضةٍ أو ليرقةٍ واحدةٍ لدودةٍ أن تحدث العدوى. أما معدّل الجرعة فهي الجرعة اللازمة لإصابة نصف الأشخاص المعرضين للتلوّث بالعدوى.

تُقاس القدرة على البقاء بطول الفترة الزمنية التي يبقى فيها المُمرض حياً في البيئة خارج المضيف البشري. يمكن لانتقال الكائنات المجهرية القادرة على البقاء

أن يتبع طريقاً طويلة، مثل نظام معالجة مياه الصرف، ويبقى قادراً على إصابة أشخاص بعيدين عن المضيف الأولي. وعموماً تزداد القدرة على البقاء اعتباراً من البكتيريا (ذات أدنى قدرة على البقاء) إلى الفيروسات إلى كييسات الابتدائيات إلى بيوض الديدان والتي تقاس قدرتها على البقاء بالشهور.

إن خصائص انتقال المُمرضات قد صنفت وفقاً لفترة حضانة ولجرعة العدوى ولقدرتها على البقاء، كما هو موضّح في العمود الأيسر للجدول 3-1. تحوي الفئة I على أمراضٍ ذات جرعات عدوى متوسطة – منخفضة (أقل من 100) وفعالة فوراً حال طرحها. لقد تمّ انتقال العدوى من شخص إلى شخص ضمن الأمكنة ذات الصحة الشخصية والعامة المتدنية. ولذلك فإنّ مكافحة هذه الأمراض تتطلّب تحسيناً في النظافة الشخصية والصحة البيئية، بما في ذلك إعداد الغذاء، والتجهيز بالمياه وطرح مياه الصرف. تضم الفئة II كافة الأمراض البكتيرية ذات جرعة عدوى متوسطة إلى قمة المتوسطة (أعلى من 10.000) وانتقالها عبر تماس شخصٍ – لشخص أقلّ احتمالاً مقارنة بأمراض الفئة I. إضافة إلى إجراءات المكافحة المحدّدة للفئة I، فإنّ لجمع مياه الصرف ومعالجتها وإعادة استخدامها أهميّة كبيرة وبخاصّة إذا كانت الصحة الشخصية ومعايير مستوى المعيشة عالية إلى حدٍ يخفّف من الانتقال عبر شخصٍ – لشخص.

تتضمّن الفئة III ديدان تنتقل بالتربة ذات فترة حضانة وقادرة على البقاء. وانتقالها أقلّ ارتباطاً بالنظافة الشخصية نظراً إلى أن بيوضها ليست فعالة بانتقالها إلى الكائنات البشرية. ولكنها أكثر ارتباطاً بنظافة الخضار النامية في حقول معرّضة لبراز البشر من خلال استخدام مياه الصرف في الريّ واستخدام الحمأة في التسميد. إن المعالجة الفعّالة لمياه الصرف أمرٌ ضروري للتخلّص من بيوض الديدان، كما إن استقرار الحمأة ضروري لإبطال نشاط البيوض المذكورة.

يوجد حوامل بشرية لكافة أمراض التيفوئيد، ولذلك ففي المجتمعات التي يكون فيها المرض مستوطناً، فإنّ نسبة من الأشخاص الأصحاء تطرح في برازها. وفي بعض الأمراض قد يتوقف تكيّف الناقل البشري مع الممرض فتظهر أعراض المرض، بينما في أمراض أخرى قد تطول فترة الحضانة لشهور أو لسنوات أو ربما تمتد مدى الحياة. ويتكيّف الناقل مع معظم الأمراض البكتيرية والفيروسية التي تثير الهلع بما فيها الكوليرا والتهاب الكبد الوبائي. إن الأشخاص الحاملين للمرض بدون ظهور أعراضه هم المسؤولون بالدرجة الأولى عن الانتقال المستمرّ للابتدائي المعوي والجيارديا لامبليا وأنواع الكريبتوسبوريديوم. وفي حالات العدوى بالديدان فقد تظهر على الشخص المضيف أعراضٌ طفيفة للمرض في حين يقوم بنقل البيوض في برازه لأكثر من سنة.

لقد أظهرت مسوحات الأمان للعاملين في المجال الصحي أن حالات الإصابة بالأمراض المنقولة بالماء بينهم ليست أكثر من تلك لدى كامل عدد السكان. وبالرغم من ذلك يجب اعتبار مياه الصرف عوامل ممرضة كامنة، إلا أن عدد الإصابات المتدني بالأمراض المنقولة بالماء في الولايات المتحدة قد قلّلت احتمال إصابة موظفي محطة المعالجة بالمرض. وتركّز معظم كتيبات الأمان على أن أفضل دفاع تجاه العدوى هو النظافة الشخصية وطلب المساعدة الطبية الفورية في حال حدوث أيّ إصابة تتسبب بقطع الجلد. وهذه الأخيرة هي أخطر المسائل خطورة نظراً إلى كونها أكثر حدوثاً وتسبباً بكثيرٍ من أمراض الحمى. إن أكثر المصادر شيوعاً للكلوسترديوم تيتاني (Clostridium tetani) هو البراز البشري، لذا يوصى بإكساب العاملين في القطاع الصحي مناعة صنعية بحقنهم بالتيتانوس توكسويد (Tetanus toxoid).

6-3 اختبار الفيروسات المعوية

إن الفيروسات ذات الأهمية الخاصّة في مياه الشرب والمياه المستصلحة هي تلك الفيروسات التي تؤثّر في الجهاز المعدي المعوي لدى الإنسان وتُطرح في براز

الأشخاص المصابين. وبالرغم من انتقال الفيروسات في الأغلب من شخص إلى شخص عبر الطريق البرازي الفموي، إلا أنها قد توجد في المياه السطحية والجوفية الملوّثة بالماء المنزلي. ومن الفيروسات التي تُطرح بكمياتٍ كبيرة نسبياً في البراز بوليوفيروس، كوكساكي فيروس، إيكوفيروس، وإينتيروفيروس، وأدينوفيروس، روتافيروس والتهاب الكبد (A) وعوامل من نمط نوروالك (Norwalk) والتي يمكنها التسبب بحمى تيفية معدية لابكتيرية تنقل العدوى[2]. ونظراً إلى أن كل مجموعة تتألف من أنماط مصلية مختلفة فقد تمّ تمييز أكثر من 100 فيروس تيفي مختلف.

إن اختبار الفيروسات المعوية يتطلب استخلاصاً وتركيزاً وتحديد هوية. تتم عملية الاستخلاص بضخٍ كمياتٍ كبيرةٍ من الماء عبر مرشحات لفائفية أو قرصية كبيرة. ويكون مستوى الفيروسات في مياه الشرب والمياه الأخرى غير الملوّثة منخفض نسبياً، بحيث إن الأمر يتطلب معالجة عينة من الماء يتراوح حجمها بين بضعة مئات وألف لتر وذلك لزيادة احتمال كشف الفيروسات. والتقنيات المختلفة المتبعة في تركيز الراسب المتبقي في لفافة أو قرص الترشيح هي: امتزاز يليه ترسيب على مرشحات مجهرية المسامات، امتزاز وترسيب المنيوم هيدروكسيد، أو بالميز الغشائي (Dialysis) باستخلاص مائي باستخدام البولي ايثيلين غليكول[2]. وخلال عمليات الاستخلاص والتركيز هذه فإنّه يتمّ إمساك جزء فقط من الفيروسات الموجودة في العينة الأصلية. وتتباين كفاءة الفصل بشكل كبير تبعاً لنوعيّة الماء. وعلى ذلك فلتقدير دقّة الفصل، ينبغي إجراء الاختبار على عينات مائيّة أضيف إليها معلقات تحتوي على نمط أو أكثر من الفيروسات قيد الاختبار، بهدف تأسيس وإرساء كفاءة المردودية (Recovery).

ويعتمد تحليل وتحديد الفيروسات في ركازة عينة، على حقيقة أنّ الفيروسات طفيليات ضمن خليوية ذات نمط حياتي محدّد، لذا فإنّ تكاثرها سيؤدي إلى تحطيم خلايا مضيفها. إن نظامَي خلايا المضيف الرئيسة للفيروسات المعوية البشرية هما

مستنبتا (Culture) خلية ثديية، إما من أصول رئيسة أو من حيوانات شقيقة. يمكن كشف معظم الفيروسات المعوية المعروفة باستخدام نظامين أو أكثر لمستنبت خليوي، وربما باستخدام صغار الفئران. ولا يوجد في الواقع نظام مضيف عالمي لكل الفيروسات المعوية. ولكن الخط المستمرّ الذي تطور من خلايا القرد الأخضر الأفريقي، مضيفٌ حسّاس لعددٍ من الفيروسات المعوية. وفي مستنبت خليوي، نمت طبقاتٌ أحادية من الخلايا على السطوح الزجاجية في حاويات مستنبتات مغطاة. يُغسل جزءٌ موزون من ركازة الفيروسات وتُفرد على سطح المستنبت الخليوي. وبعد فترة الحضانة يتمّ تقدير ركازة الفيروسات في الجزء من العينة الذي يجري عليه الاختبار بواسطة عدٍّ مجهري للصفائح (Plaques) وإجراء التصحيحات المتعلقة بالتخفيف. (الصفيحة هي مساحة فارغة في الطبقة الأحادية من الخلايا ناتجة عن تدمير فيروسي للخلايا).

يتمّ فحص مستنبت اختبار الخلايا دورياً كل 14 يوم للتأكّد من ظهور الصفائح، ويتم التعبير عن تركيز الفيروس في العينة بالوحدات المشكلة للصفائح (Palque Forming Unit) (PFU) باللتر. يتطلب الأمر فحوصات إضافية للتأكّد من نمط الفيروسات المشكِّلة للصفيحة. يمكن القيام تحديد أولي للفيروس اعتماداً على الفحص المجهري للتأثيرات المرئية للفيروس على خلايا المستنبت المصابة. يتضمّن التحديد الدقيق استرداد الفيروسات من صفيحة مفردة وتطعيمها في مستنبتات خليوية مختلفة واختبارها في الفئران.

إن اختبار الفيروسات المعوية فوق استطاعة معظم المخابر الميكروحيويّة للمياه ومياه الصرف. ينبغي على المخابر التي تخطّط لتركيز الفيروسات من المياه ومياه لصرف أن تقوم بذلك مع إدراك واضح بأن المنهجية الراهنة لها محدوديات هامة[2]. تتباين كفاءة طرق استخلاص وتركيز الفيروسات بشكلٍ كبير تبعاً لنوعيّة الماء. تتطلّب معالجة العينة جهازاً خاصاً، كما تتطلّب إجراءات اختبار وتحديد

الفيروس مستنبتات خليوية ومنشآت مخبريّة فيروسية مناسبة. ولا ينبغي أن يتمّ اختبار وتحديد الفيروس إلا من قبل خبير فيروسات مُدرَّب يعمل في منشآت مخبريّة فيروسية مجهّزة تجهيزاً خاصاً.

إن اختبار الفيروسات المعوية أمرٌ أساسيّ وحصيفٌ ضمن تحريّات نوعيّة الماء المنفذة في حالات خاصة كالدراسات البحثية، واستصلاح المياه، أو تفشي الأمراض. وتُظهر الفقرة 3-13 التحريّات التي قامت بها الدوائر الصحية في مقاطعة لوس أنجلوس والمتضمنة اختبار وتحديد الفيروسات (نزع المُمرضات). لقد استقصى مشروع بحثي مستفيض نُفِّذ في أواسط سبعينيات القرن الماضي نزع الفيروسات المعوية عبر معالجة ثالثية لمياه الصرف على مستوى محطة إرشادية.

وهناك حالياً ثماني محطات ثالثية تعالج مياه الصرف عبر الترشيح والكلورة بزمن تماس طويل لنزع الفيروسات (شكل 13-10). ومعايير التدفّق مع المراقبة اليوميّة هي عدم تجاوز معدّل تركيز القولونيات 2.2 قولونيات كلية/ 100 مل، وأن لا يتجاوز مستوى العكورة NTU 2. ولضمان نزع الفيروسات، أُسّس برنامجٌ طويل الأمد لمراقبة الفيروسات لاختبارٍ دوريٍّ على عينات مركبّة يتمّ جمعها خلال 24 ساعة. ومنذ عام 1979 إلى عام 1999، تمّ اختبار 1045 عينة لتحديد الفيروسات المعوية، حجم كلّ منها 1000 لتر على الأقل من مياه مستصلحة أخذت من كل من المحطّات الثالثية الثمانية. أظهرت النتائج وجود عينة واحدة فقط احتوت على فيروس كوكس ساكي بي.

3-7 اختبار الجيارديا والكريبتوسبوريديوم

إن هذين النمطين للابتدائيين المعويين الممرضين، شائعان في الجائحات المنقولة بالمياه ويتسببان بالإسهال أو بالتهاب الأمعاء. ويعتبر تماس شخص لشخص شكلاً آخر أيضاً لانتقال المرض. وبالرغم من وجود هذه الطفيليات في الحيوانات الداجنة

والبرية، إلا أن الانتقال من حيوان لشخص يبدو محدوداً. رغم ذلك فقد حدثت جائحات خطيرة لأمراض منقولة بالماء عندما لم تحظَ مياه الشرب بمعالجة مناسبة بعد تلوّث مصدر المياه السطحية ببراز الحيوانات. وفي سبعينيات القرن الماضي سُجّل في الولايات المتحدة وقوع جائحات بسبب الجيارديا لامبليا بتواتر متزايد، وبخاصة في أنظمة مياه التجمّعات التي تُستخدم مصادر مياه سطحية غير مرشحة. وفي منتصف ثمانينيات القرن المذكور حدثت جائحاتٌ بسبب الكريبتوسبوريديوم نتيجة ترشيح وتعقيم غير ملائمين أو لتلوّث عرضي للمياه في نظام التوزيع بمياه الصرف الصحي. والكريبتوسبوريديوم مرض عنيف مهدّد لحياة مرضى الإيدز. وفي حين تقتصر أعراض المرض على الإسهال في الأشخاص الذين يتمتعون بالمناعة، يكون المرض مزمناً وأكثر حدة في الأشخاص الذين يعانون عوز المناعة. ولا يوجد لغاية الآن شكل آمن وفعّال لمعالجة معيّنة تمّ تحديدها.

يتكون اختبار كييسات الجيارديا من ترشيح الماء قيد الاختبار (مصدر مياه خام لدى محطة المعالجة قبل تعقيمها أو من نظام التوزيع)، واستخلاص من مادة الفلتر، وتركيز المستخلص، وفحص مجهري بواسطة كشف تألق المناعة (Immunofluorescence). يتمّ ضخ حجم كبير من الماء يبلغ عادةً 100 gal (308 لتر) من خلال فلتر ضخ من البروبيلين ذي نفوذية ضئيلة قدرها 1 µm وبعد قصّ وفصل أنسجة الفلتر من النواة الداعمة، يتم غسل الدقائق (Particulates) والكييسات المتبقية ثم تركيزها بالنبذ. تُفصل الكييسات عن حطام الدقائق بالتعويم في محلول بيركول – سكروز. يوضع جزء من السطح البيني للمياه/ بيركول – سكروز على فلتر غشائي ليشكل طبقةً أحادية، ويُطلى بأجسام مضادّة تتألق بشكل غير مباشر ثم تُفحص بالتألق المجهري السطحي[2]. ونظراً إلى أن فحص الشريحة يتطلّب تقويماً موضوعياً، فقد تعتبر عضويات خارجية على خطأ، بأنها كييسات جيارديا. وعلى ذلك يجب إيلاء أعداد الكييسات التي حُددت بنيتها الداخلية المناسبة وثوقية أكبر من تلك التي تتضمّن عضويات فارغة.

يتضمن اختبار بيوض الكريبتوسبوريديوم والمشابه لاختبار كييسات الجيارديا ترشيح كمية كبيرة من الماء للاستخلاص، ونزع الجزئيات من المرشح، وتركيز بواسطة النبذ، وفصل البيوض من الحطام ثم طلائها بأجسام مضادة متألقة بهدف التحديد المجهري. يتمّ التأكد من البيوض بواسطة حجمها وشكلها ومميزاتها المورفولوجية الخارجية.

وينبغي للمخابر التي تجري اختبارات بيوض الكريبتوسبوريديوم أن تكون مجهزة لذلك ومرخص لها بضمان الجودة. لقد كشفت حالات تاريخية إن تقارير عن الماء المغلي نُشرت بدون حاجة إليها في مدينتين رئيستين، قد تسببت باهتمام بالصحة العامة خاطئ، وبقلق المواطنين وبانزعاج المسؤولين. لقد بُني التلوّث المشبوه على وجود بيوض "شوهدت" في عينات ماء جمعت في نظام التوزيع بالرغم من عدم ظهور أيّ إصابة بشرية بالمرض. ففي إحدى الحالات كان المخبر الذي يقدّم بيانات المراقبة، لديه ضمان جودة معتبر، لكنه كان يعاني في الوقت نفسه مشاكل ضبط الجودة، ما جعل كل بيانات الاختبار مشكوك بها. وكان التحديد الخاطئ للبيوض ناتجاً جزئياً من وجود الطحالب في كلّ من المياه الخام والمياه المعالجة، والتي تماثل وتحاكي البيوض مجهرياً. وفي حالة ثانية أظهر الكشف عن ظروف مخبريّة سيئة وطريقة تحليلٍ غير ملائمة، ما تسبب بنتائج خاطئة.

لقد طوّرت EPA الطريقة 1622 والطريقة 1623 للكشف والعدّ المتزامنين لكل من كييسات الجيارديا وبيوض الكريبتوسبوريديوم، وذلك عبر تطبيق تقنيات مخبريّة محسّنة تُستخدم الفصل المناعي المغنطيسي (Immunomagnetic Separation, IMS) واختبار التألق المناعي (Immunofluorescence Assay, FA) على حجمٍ موصىً به يبلغ 10 لتر فقط من عينةٍ مائيّة. لقد قيمت الطريقة 1622 لكشف بيوض الكريبتوسبوريديوم في مياه الجداول قبل التعديلات المقترحة لقانون معالجة المياه السطحية، وذلك عبر إرساء متطلبات معالجة تعتمد على متوسط تركيز بيوض الكريبتوسبوريديوم في مصادر المياه السطحية. يتمّ اختبار عينتين مكررتين

حجمهما 10 لتر، لم يضف إلى إحداهما شئ بينما أضيف إلى الأخرى (المضاف إليها: عينة أُضيف إليها 100 – 250 بيضة إلى الــ 10 لتر من مياه الجدول ذلك لزيادة عدد البيوض التي يمكن كشفها. والتي لم يضف إليها هي عينة مياه الجدول الطبيعي). إن استرداد البيوض من العينات المضاف إليها كان دوماً موجباً، ولكن عدد البيوض المستردة يكون غالباً متبايناً للغاية (أقل من 5% إلى أكثر من 20%). في حين بدا أن بضع عينات مياه جداول غير مضاف إليها، كانت نتيجة تحاليل البيوض فيها إيجابية. تتحكم خصائص الماء وبخاصة تداخل العكورة بكفاءة الاسترداد وحساسية طريقة الاختبار إلى حد بعيد. وعلى ذلك ينخفض احتمال الكشف والعدّ الدقيقين للبيوض في المياه السطحية الطبيعية على نحو ملحوظ.

8-3 البكتيريا القولونية الدالّة على الجرثوميات

إن اختبار محتوى الماء لتحديد البكتيريا الممرضة فيها تبدو من النظرة الأولى طريقة مجدية لتقدير النوعيّة الميكروبيولوجية. ولكن بتدقيق أكثر يلاحظ أن لاختبار وجود المُمرضات لتقدير النوعيّة الميكروبيولوجية لمياه الشرب، مثالب كثيرة. فالفحوص المخبرية للبكتيريا المنتجة للمرض والفيروسات والابتدائيات صعبة التحقيق وعموماً لا يمكن التوصل عبرها كمياً إلى النتائج نفسها. فضلاً عن ذلك فإن الغياب البارز لمُمرض ما لا يقتضي بالضرورة ظهور ممكن لمُمرض مختلف. ولا يتوفر في معظم المخابر كوادر مؤهلة وأجهزة ملائمة لمراقبة وكشف المُمرض روتينياً أو عرضياً. وتقوم بعض المنشآت الضخمة ذات المصادر المائيّة السطحية باختبار بيوض الكريبتوسبوريديوم بتواتر قدره 1 إلى 4 عينات في الشهر. ويرجع على الأرجح دخول المُمرضات إلى نظام توزيع الماء إلى اختراق المعالجة بشكل متقطع لا بشكل مستمر، وإلى محدودية تنفيذ المراقبة والتي تقدم قيمة ضئيلة كوسيلة لحماية الصحة العامة. وفي حالة المياه الجوفية (والتي لا تخضع لتأثير المياه السطحية) فإن أكثر المُمرضات احتمالاً هي أنواع منتقاة من الفيروسات المعوية والتي يكون إجراء اختبارات لتحديدها أمراً غير عملي، أو مستحيل في تحديد بعضها. لا تُقدّم الطرق المتوفرة لكشف وتحديد المُمرضات البشرية بيانات موثوقة تمكّن من اتخاذ قرارات

بشأن الصحة العامة. ولهذه الأسباب تعتمد النوعيّة المايكروبيولوجية للمياه على اختبار العضويات اللامُمرضة الدّالة، وبصورة أساسيّة على مجموعة القولونيات.

تستقر البكتيريا القولونية والتي تمثلها الإيشيريشيا كولي في الجهاز المعوي البشري وتُطرح بأعداد كبيرة في براز البشر وذوات الدم الحار، بمتوسط يُقارب 50 مليون قولونية/الغرام. وتحوي مياه الصرف غير المعالجة 3 مليون قولونية/ 100 ml. تنبثق البكتيريا المُمرضة والفيروسات والابتدائيات المسببة للأمراض المعوية في الإنسان من المصدر نفسه، وهو المفرغات البرازية من شخص مصاب. وبناءً عليه فإنّ خطرالمياه الملوّثة بتلوّثٍ برازي يُعتبر خطراً كامناً، استناداً إلى وجود البكتيريا القولونية.

إن منشأ بعض أجناس مجموعة القولونيات الموجودة في الماء والتربة ليس برازياً، نظراً إلى نموها وتكاثرها على مواد عضوية خارج أمعاء البشر والحيوانات. ولا تدلّ هذه القولونيات على تلوّث برازي ولا على وجودٍ محتملٍ للمُمرضات. ويشير مصطلح القولونيات الكلية في اختبارات المختبرات إلى كل البكتيريا القولونية المتأتية من البراز والتربة والمصادر الأخرى. ويدلّ مصطلح القولونيات البرازية على بكتيريا قولونية ناتجة من براز الإنسان أو من براز ذوات الدم الحار. تُعتبر عموماً البكتيريا البرازية التي تستقر في الجهاز المعوي للإنسان غير مُمرضة.

إن إيشيريشيا كولي O157:H7، وهي فصيلة ممرضة للإنسان، مقاومةٌ للمضادات الحيويّة ومتحوّلة وموجودة في براز قطعان الماشية. ويتركز القلق الصحي الرئيسي على لحم البقر الملوّث، والحليب الخام الملوّث، وعلى الانتقال والانتشار من شخصٍ إلى شخص.

لقد حدث التفشي الوحيد المنقول بالماء للإيشيريشيا كولي O157:H7 في عام 1987 في تجمّع سكاني قدره 2000 نسمة. وقد تسببت العدوى بإسهال دام وبآخر غير دام مفضياً إلى أربع وفيّات. وكان سبب التفشي تلوّث التجهيز بالماء بمياه الصرف في أثناء إصلاح وصلات الخط الرئيسي للمياه.

تعتمد وثوقية البكتيريا القولونية كإشارة إلى وجود مُمرضات في الماء، على الممانعة التي تبديها المُمرضات مقارنة بالقولونيات. فمعدّل الوفيات الناتجة من الإصابة بالبكتيريا المُمرضة أعلى من ذلك الناجم عن القولونيات الموجودة خارج الجهاز الهضمي لدى الإنسان. لذا فإنّ التعرّض للبيئة المائيّة يقلّل عدد البكتيريات المُمرضة مقارنة بالقولونيات. وتتناقص الفيروسات أيضاً بالبيئة المائيّة ولكن ليس بالضرورة على نحوٍ أسرع من القولونيات. أما كييسات الابتدائيات والديدان فهي أشدّ ممانعةً بكثير من البكتيريا القولونية. فمثلاً قد لا تتمكن بقايا الكلور الفعّال في قتل البكتيريا، أن تخمد الأنواع المقاومة للفيروسات المعوية، كما إنها غير فعّالة في تخميد كييسات الابتدائيات أو بيوض الديدان المؤذية، بل على العكس، قد يمكن للترشيح عبر التربة الطبيعية والحوامل المائيّة الرملية لمسافةٍ معتبرة، أو عبر أوساط حُبيبية في محطات المعالجة بعد التخثير الكيميائي، أن يصطاد الكييسات والبيوض بسبب حجمها الكبير نسبياً، بينما يسمح للبكتيريا والفيروسات بالمرور منقولةً بالمعلقات في الماء.

والقولونيات مؤشر موثوق لسلامة المياه السطحية المعالجة واستخدامها في الاستهلاك البشري شريطة أن تتضمّن عمليات المعالجة تخثيراً كيميائياص وترشيحاً وذلك لإبعاد الكييسات والبيوض والمواد المعلقة تمهيداً لكلورة فعّالة للمياه الصافية تخمد الفيروسات وتقتل البكتيريا. وبطريقة مشابهة يمكن استخدام القولونيات كمؤشر لنوعيّة الماء لإعادة استخدام المياه المستصلحة شريطة أن تُعالج مياه الصرف حيوياً وان تُخثّر كيميائياً وأن تُرشّح لأبعاد كييسسات الابتدائيات وبيوض الديدان فيزيائياً وأن يعقب ذلك كلورة طويلة الأمد لتخميد الفيروسات وقتل البكتيريا.

إن توسيع استخدام معيار القولونيات ليشمل نوعيّة الماء لأغراضٍ أخرى غير استخدامها للشرب، لم يُحدّد بوضوح. فنظراً إلى كون هذه البكتيريا قد تتأتى من حيوانات ذات الدم الحار أو من التربة أو من الحيوانات ذات الدم البارد إضافةً إلى البراز البشري، فإنّ ظهور القولونيات في المياه السطحية يشير إلى أيّ من المصادر

الثلاثة الآتية أو إلى اشتراك أكثر من مصدرٍ منها: فضلات الإنسان، وحيوانات المزرعة أو حتّ التربة. ورغم وجود اختبار خاصّ يمكّن من القيام بفصل القولونيات البرازية من أنماط الترب، إلا أنه ما من طريقةٍ تمكّن من تمييز البكتيريا البشرية عن البكتيريا الحيوانية. وتعتمد أهميّة اختبار القولونيات في المسوح السكانية على معرفة التخوم المائيّة ومعرفة أكثر المصادر المحتملة للقولونيات الملاحظة.

9-3 اختبارات مجموعة القولونيات

تتكوّن مجموعة القولونيات من أجناس متعدّدة من البكتيريا في عائلة البكتيريا المعوية إينتيروبكتيرياسي (Enterobacteriaceae) والتي تتضمّن إيشيريشياكولي. والتعريف التاريخي لمجموعة القولونيات: كافة العصيّات الهوائية واللاهوائية الطفيليّة سالبة الغرام (Gram Negative) والتي لا تشكّل أبواغاً وتخمر اللاكتوز بالترافق مع تحرر غاز، وذلك خلال فترة حضانة قدرها 48 ساعة تحت درجة حرارة $35^{\circ}C$. والطرق المخبريّة لكشف القولونيات هي تقنية التخمير متعدد الأنبوب (Multiple-tube Fermentation Technique)، تقنية الوجود-الغياب (Presence-absence Technique)، طريقة القولونيات البرازية (Fecal Coliform Procedure)، إضافةً إلى تقنية الترشيح الغشائي (Membrane Filter Technique). وفيما يلي استعراضٌ موجزٌ لهذه الطرق، ولمزيد من الإيضاحات ارجع إلى (*Standard Methods*) [1].

يتطلب إجراء الاختبارات البكتيرية لكشف القولونيات تجهيزاتٍ مخبريّة كثيرة، بما في ذلك فرن تعقيم بالهواء الساخن، ومحم، وحاضنات، وقوارير عينات، وسحّاحات مدرّجة، وحاملات سحّاحات، وأنشوطة تطعيم سلكية، وأوساط استنبات، وأطباق تحضير. يستخدم فرن التعقيم بالهواء الساخن لتعقيم الأدوات الزجاجية، وقوارير العينات الفارغة، والسحّاحات وأطباق تحضير المستنبت. إن التسخين إلى درجة حرارة 160- $180^{\circ}C$ لمدة ساعة ونصف مناسبٌ لقتل الخلايا والأبواغ الميكروبية. يُستخدم مِحَمٌ لتعقيم أوساط الاستنبات ومياه التخفيف تحت ضغط البخار. ويُوصى أن تتم العملية لمدة 15 min تحت ضغط تبخر قدرة 15 Psi، وهذا يعادل

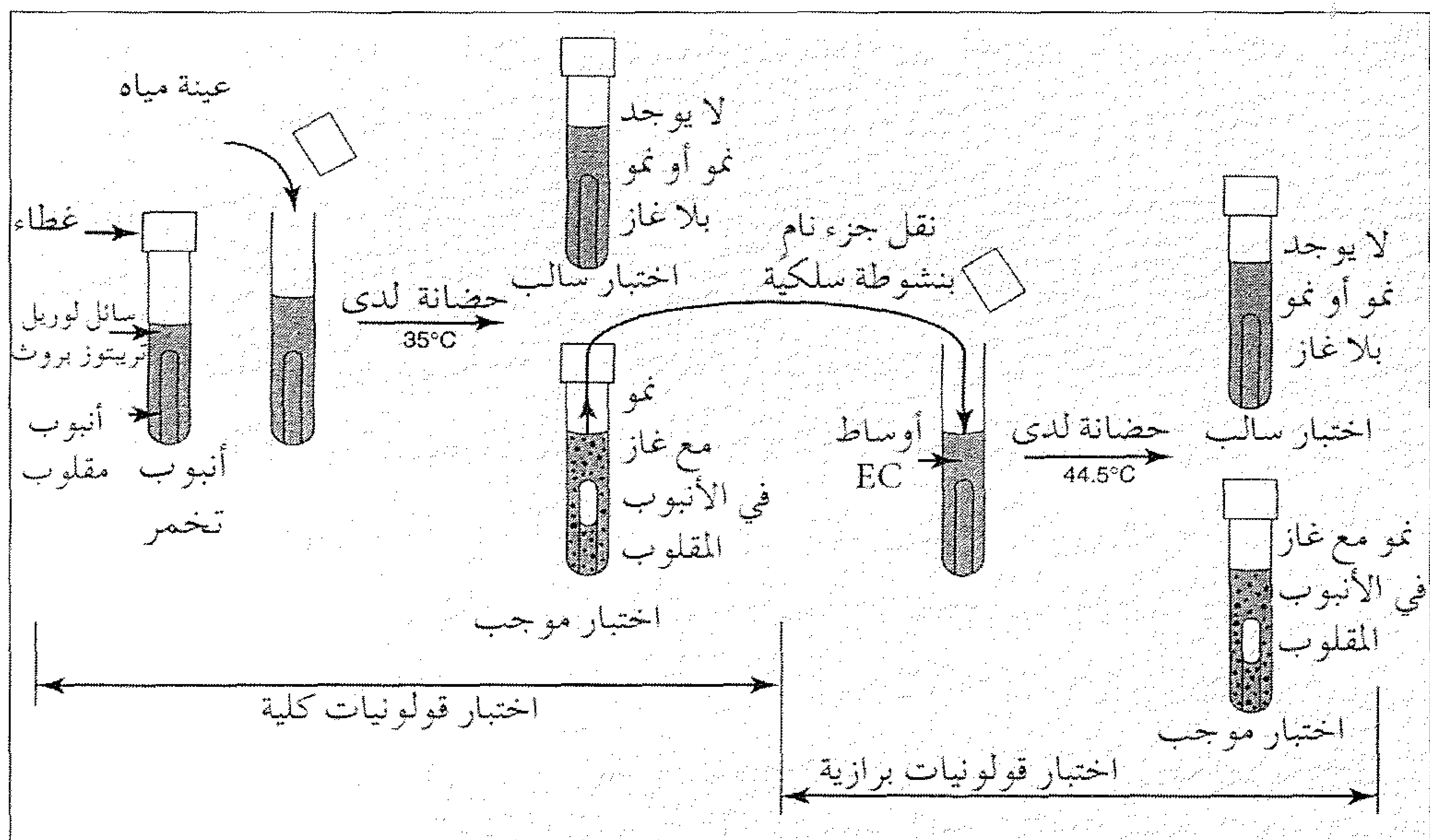
درجة حرارة 121.6°C. القارورات الزجاجية ذوات حجم 120 ml مصنوعة من زجاج شافٍ مزوّدة بأغطية مُحلزنة مناسبة لتحمّل درجات حرارة التعقيم. والسحّاحات المُستخدمة لنقل العينات من حاوية إلى أخرى معالجة بالهواء الساخن لتفادي تلوّث العينة. وتستخدم أنشوطة من سلك رقيق وصغير من الكروم أو البلاتين لنقل معقم لكميات ضئيلة من المستنبت. ويتم تعقيم السلك بتسخينه حتى الاحمرار في لهب موقد بنزن (Bunsen Burner). أوساط الاستنبات هي أسلوب لإعادة تشكيل خاصة للمغذيات العضويّة واللاعضوية وذلك لدعم نمو العضويات المجهرية. وتتوفر أوساط استنبات منزوعة الماء (بشكل مسحوق) متوفر تجارياً. ويتضمّن التحضير وضع كميّة موزونة منها في ماء مقطر وتسخينه حتى الذوبان بدون حرقها.

تقنية التخمير متعدد الأنبوب

تختبر هذه التقنية القولونيات الكلية، بما فيها البكتيريا القولونية المتأتية من البراز والتربة ومصادر أخرى، كما تختبر القولونيات البرازية والتي هي بكتيريا قولونية متأتِّية من البراز البشري أو براز الحيوانات ذوات الدم الحار. وهذه التقنية هي أكثر التقنيات وثوقية لعدّ كلّ من القولونيات الكلية والقولونيات البرازية المتحملة للحرارة في مياه الصرف والمياه السطحية. والاستخدام الشائع لهذه التقنية هو مراقبة مياه الصرف المعالجة ومدى توافقها مع معايير القولونيات، وكذلك مسح المياه الجارية والمحتجزة وتوافقها مع معايير نوعيّة الماء.

يظهر الشكل 3-9 الإجراءات المخبريّة لكشف وعدّ القولونيات الكلية والقولونيات البرازية المتحملة للحرارة. وأنابيب التخمير عبارة عن حاوياتٍ أنبوبية زجاجية مُصممّة لأن تُغلق بغطاء محلزن أو بغطاءٍ من الفولاذ غير القابل للصدأ ينزلق على فوهة الأنبوب، يوجد ضمن أنابيب التخمر، أنابيب صغيرة مقلوبة موضوعة ضمن أوساط استنبات لجمع الغاز المتولد عن النمو البكتيري.

يتكون وسط استنبات اختبار القولونيات الكلية من سائل لوريل تريبتوز بروث (Lauryl Tryptose Broth) حاوٍ على تريبتوز ولاكتوز (سكر الحليب) ومواد مغذية لاعضوية. فإذا أضيفت عينة الماء المراد تحليلها إلى السائل المذكور وانطلق غاز لدى درجة حرارة 35°C (95°F) درجة حرارة الجسم البشري)، فإنّ الاختبار إيجابي، أيّ أنه يُفترض احتواء العينة على القولونيات. (أحياناً يمكن لبكتيريا لاقولونية، لاهوائية مشكلة للأبواغ أو لمجموعة من البكتيريا تنمو مجتمعة أن تطلق غازاً في لوريل تريبتوز بروث).

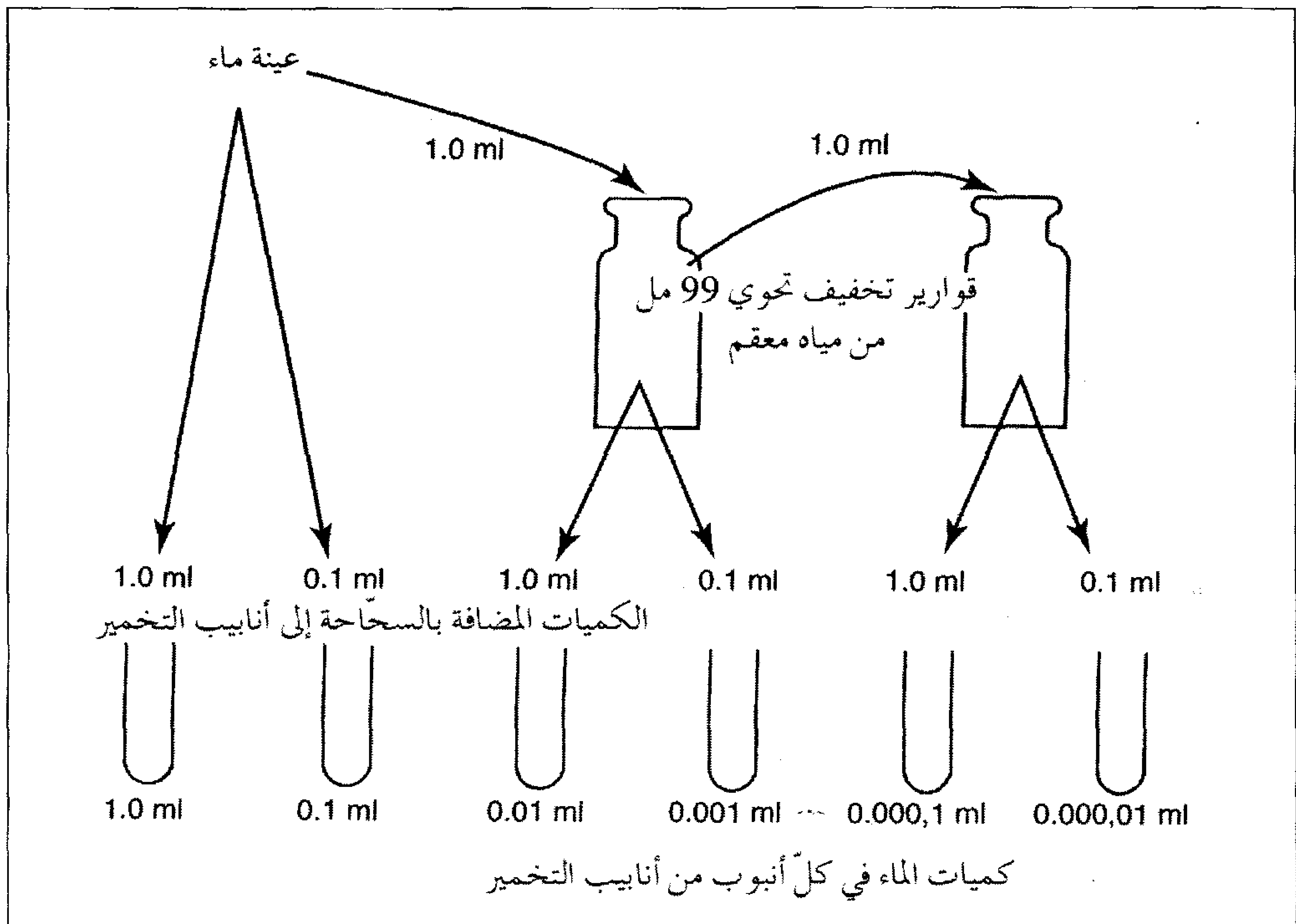


شكل 3-9: مخطط لتقنية تخمر الأنبوب المتعدد لتقدير القولونيات الكليّة والقولونيات البرازية المتحملة للحرارة الموجودة في عينة مياه صرف معالجة أو مياه سطحية

تنمو القولونيات البرازية المتأتية من البراز البشري وبراز الحيوانات ذوات الدم الحار في أوساط EC (EC هي أوساط إغناء باللوريل تريبتوز بروث وحاوية على الترابتوز، واللاكتوز، ومزيج من أملاح المرارة ومغذيات لاعضوية)، منتجةً حمض لاكتيك وغاز بعد حوالى 22 إلى 26 ساعة من الحضانة تحت درجات حرارة متزايدة من 44.5°C ± 0.2°C (112.1°F). وتحت درجة الحرارة المرتفعة

هذه لا تنمو القولونيات اللابرازية. وتُستخدم أنشوطة سلكية معقّمة لنقل نقطة صغيرة من الجزء النامي من أنبوب لوريل تريبتوز بروث موجب النتيجة إلى أنبوب أوساط EC. إن النمو مع انطلاق غاز لوحظت فقاعاته في الأنبوب المقلوب، هو اختبار موجب يدلّ على وجود القولونيات البرازية. فإنّ لم يظهر غاز، كان الاختبار سالباً ولا يوجد بالتالي بكتيريا قولونية برازية في الاختبار الموجب للقولونيات الكلية.

يمكن تقدير كثافة البكتيريا في عينة ماء بتخفيف تسلسلي في أنابيب متعدّدة باستخدام تقنية التخمر. وتعتمد النتيجة المتداولة باسم العدد الأكثر احتمالاً (Most Probable Number, MPN) على جداول الاحتمالية الموجزة ويعبر عنها بقرينة (MPN index/100 ml). تتضمّن الإجراءات الشائعة لتقدير(MPN) استخدام سحّاحات معقّمة معايرة بزيادة قدرها 0.1 ml، وقوارير تخفيف معقّمة ذات غطاء محلزن تحوي 99 ml ماء، وحامل يحوي ستة أطقم لمجموعات أنابيب يتكون كلّ منها من خمسة أنابيب تخمير لوريل تريبتوز بروث. ويظهر الشكل 3-10 مخططاً لتحضيرات الاختبار. تُستخدم سحّاحة معقّمة لنقل أجزاء من العينة قدر كلّ منها ml 1 إلى كلّ من أنابيب التخمير الخمسة، ويعقب ذلك توزيع مقدار قدره 0.1 ml إلى كلّ من الطقم الثاني المكوّن من خمسة أنابيب. وللتخفيف الأعلى يتطلب الأمر توزيع مقدار 0.01 ml من مياه العينة على الطقم الثالث المكوّن من خمسة أنابيب، والذي يستحيل مصه بدقة. لذلك يتمّ وضع 1 ml من العينة في قارورة تخفيف تحوي 99 ml من مياه معقم ثم تمزج. يمكن الآن مصّ مقادير قدرها 1 ml حاوية على 0.01 ml من عينة الماء السطحي ونقلها إلى الطقم الثالث المكوّن من خمسة أنابيب. بينما ينقل إلى الطقم الرابع 0.1 ml من قارورة التخفيف نفسها. تتقدم العملية خطوة أخرى بنقل 1 ml من قارورة التخفيف الأولى إلى 99 ml من الماء الموجود في قارورة التخفيف الثانية بهدف تخفيف 100 مثلٍ آخر. تُنقل بالسحّاحة أجزاءٌ من قاروة التخفيف هذه إلى الطقم الخامس والسادس. وبعد فترة حضانة لمدة 48 ساعة تحت درجة حرارة 35°C، يختبر انطلاق الغاز في الأنابيب، ويُسجل عدد التفاعلات الإيجابية لكل من التخفيفات التسلسلية.



شكل 3-10: إجراءات تحضير تقنية التخمير متعدد الأنبوب لتقدير العدد الأكثر احتمالاً (MPN) للبكتيريا القولونية في عينة ماء

يُمكن تقدير قرينة (MPN) والحدود القصوى لوثوقية لمجموعات مختلفة من النتائج الإيجابية والسلبية للتخمير متعدد الأنابيب، من الجدول 2-3. إذ تشير الأعمدة الثلاثة الأولى إلى عدد الأنابيب الإيجابية من أصل الخمسة التي تحوي أجزاء عينة حجمها 10 ml و1 ml و0.1 ml. وإن استخدمت كميات أقلّ من العينة في الأنابيب، وهذا ما يتمّ عادة، يتوجّب إعادة ضبط الأجوبة الموجودة في الجدول. فإنّ استخدمت أجزاء 1 ml و0.1 ml و0.01 ml فستكون قيمة (MPN) الناتجة أكبر بعشر أمثال القيمة المعطاة في الجدول. أما إن كانت كميات العينة 0.1 ml و0.01 ml و0.001 ml فسوف تُسجّل قيم تبلغ 100 مثل القيمة الموجودة في الجدول، وهكذا دواليك فيما يتعلق بباقي المجموعات. وعندما استخدام أكثر من ثلاث تخفيفات في سلسلة

عشرية من التخفيفات فإنّ نتائج ثلاث منها سوف تُستخدم في حساب (MPN). والتخفيفات الثلاثة المنتقاة هي أعلى تخفيفات كانت نتائجها إيجابية في كافة الأجزاء الخمسة المختبرة (بحيث لا يوجد تخفيفات أقلّ كانت نتائجها سلبية).

تخفيف تسلسلي في أنابيب متعدّدة

يمكن استخدام اختبارات الكثافة البكتيرية بواسطة أنابيب تخمير التطعيم بتخفيف واحد فقط للمياه ذات المحتوى البكتيري المنخفض كالماء بعد المعالجة الثالثية. ويظهر الجدول 3-3 قرينة (MPN) والحدود القصوى لوثوقية لمجموعات مختلفة من النتائج الإيجابية والسلبية لعشر أنابيب تخمير متعدد باستخدام أجزاء قدرها 10 ml. إن قرينة (MPN index/100 ml) في هذا الإجراء محصورة في مجال 1.1 إلى 23.

عينة ماء قوارير تخفيف تحوي 99 مل من مياه معقم الكميات المضافة بالسحّاحة إلى أنابيب التخمير كميات الماء في كلّ أنبوب من أنابيب التخمير

مثال 3-1

فيما يلي نتائج تحليل تخمير متعدد الأنبوب للقولونيات الكلية و القولونيات البرازية في عينة مياه نهر ملوثة. يظهر الشكل 3-10 ترتيب التخفيفات التسلسلية، احسب (MPN) لكلا الاختبارين

التخفيف التسلسلي	جزء العينة	عدد التفاعلات الإيجابية من أصل خمسة أنابيب	
		لوريل تريبتوز بروث	وسط EC
0	1	5	5
1	0.1	5	4
2	0.01	5	1
3	0.001	1	1
4	0.0001	0	0
5	0.00001	0	0

الحل

القولونيات الكلية (MPN): تظهر التخفيفات الثلاثة المنتقاة لتقدير (MPN)، أنابيب إيجابية 5 و 1 و 0. تبلغ قيمة القرينة من الجدول 3-2، دون اعتبار حجم أجزاء العينة، 30. ولكن ونظراً إلى أن قيم أجزاء العينة الموافقة للقيم 5 و1 و0 تبلغ 0.01 و0.001 و0.0001 يجب ضرب قيمة (MPN) بـــ 1000. لذلك فإنّ قرينة (MPN) من أجل سلسلة اختبارات القولونيات الكلية تبلغ 30000 بحدود قصوى للوثوقية تبلغ 95% للـــ 10000 والـــ 120000. (MPN) هو العدد الأكثر احتمالاً في 100 ml من الماء، والحدود القصوى للوثوقية تعني أن 95% من كلّ تحاليل (MPN) المنفذة على نفس العينة ينبغي أن تقع من وجهة نظر إحصائية ضمن هذا المجال للقيم المحدّدة).

(MPN) القولونيات البرازية: التخفيفات المنتقاة هي 5، 4، و1 مع عامل تصحيح يبلغ 10. وقيمة (MPN) تساوي 1700 مع حدود وثوقية تتراوح بين 700 و4800.

جدول 3-2: قرينة (MPN Index) وحدود وثوقية الـــ 95% لأعداد القولونيـــات بواســـطة تقنية التخمير متعدد الأنابيب لتوفيقات مختلفة للنتائج الإيجابية والسلبية عند استخدام خمـــسة أجزاء 10 ml وخمسة أجزاء 1.0 ml وخمسة أجزاء 0.1 ml

عدد الأنابيب التي أعطت نتائج إيجابية من أصل 5 أنابيب في كلّ منها			**قرينة (MPN index لكل 100ml**	حدود وثوقية الـــ 95%		**عدد الأنابيب التي أعطت نتائج إيجابية من أصل 5** أنابيب في كلّ منها			**قرينة (MPN index لكل 100ml**	حدود وثوقية الـــ 95%	
10 ml	1 ml	0.1 ml		أدنى	أعلى	10 ml	1 ml	0.1 ml		أدنى	أعلى
0	0	0	2 >			4	2	1	26	12	65
0	0	1	2	1.0	10	4	3	0	27	12	67

77	15	33	1	3	4	10	1.0	2	0	1	0
80	16	34	0	4	4	13	1.0	4	0	2	0
86	9.0	23	0	0	5	11	1.0	2	0	0	1
110	10	30	1	0	5	15	1.0	4	1	0	1
140	20	40	2	0	5	15	1.0	4	0	1	1
120	10	30	0	1	5	18	2.0	6	1	1	1
150	20	50	1	1	5	18	2.0	6	0	2	1
180	30	60	2	1	5						
						17	1.0	4	0	0	2
170	20	50	0	2	5	20	2.0	7	1	0	2
210	30	70	1	2	5	21	2.0	7	0	1	2
250	40	90	2	2	5	24	3.0	9	1	1	2
250	30	80	0	3	5	25	3.0	9	0	2	2
300	40	110	1	3	5	29	5.0	12	0	3	2
360	60	140	2	3	5						
						24	3.0	8	0	0	3
410	80	170	3	3	5	29	4.0	11	1	0	3
390	50	130	0	4	5	29	4.0	11	0	1	3
480	70	170	1	4	5	35	6.0	14	1	1	3
580	100	220	2	4	5	35	6.0	14	0	2	3

690	120	280	3	4	5	40	7.0	17	1	2	3
820	160	350	4	4	5						
940	100	240	0	5	5	38	5.0	13	0	0	4
1300	100	300	1	5	5	45	7.0	17	1	0	4
2000	200	500	2	5	5	46	7.0	17	0	1	4
2900	300	900	3	5	5	55	9.0	21	1	1	4
5300	600	1600	4	5	5	63	12	26	2	1	4
		≤2400	5	5	5	56	9.0	22	0	2	4

American Public Health Association. 20th Edition of Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 1998: Section 9221. Reprinted with permission from the American Public Health Association.

جدول 3-3: قرينة (MPN) وحدود وثوقية الـ 95% لتوفيقات مختلفة للنتائج الإيجابية والسلبية عند استخدام أجزاء قدرها 10 مل

95% حدود الوثوقية		قرينة (MPN index/100 ml)	رقم الأنبوب من الأنابيب العشرة التي أعطت تفاعلاً إيجابياً
أعلى	أدنى		
3.0	0	<1.1	0
5.9	0.03	1.1	1
8.1	0.26	2.2	2
10.6	0.69	3.6	3
13.4	1.3	5.1	4
16.8	2.1	6.9	5
21.1	3.1	9.2	6

27.1	4.3	12	7
36.8	5.9	16.1	8
59.5	8.1	23	9
عدم تعيين	13.5	23 <	10

American Public Health Association. 20th Edition of Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 1998: Section 9221. Reprinted with permission from the American Public Health Association.

تقنية الوجود- الغياب

يستطيع اختبار الوجود – الغياب (*P - A = Presence - Absence*) تقدير ما إذا كانت البكتيريا القولونية إيشيريشيا كولي موجودة في عينة ماء بدون الإشارة إلى القولونيات الموجودة في عينة ذات نتيجة موجبة. وتتجه النية إلى تطبيق هذا الاختبار في المراقبة الروتينية لمياه الشرب فور القيام بالمعالجة وكذلك في شبكة أنابيب نظام التوزيع. ويعتمد هذا النظام على المفهوم بأن المستوى الأعظمي للتلوّث (Maximum Contamination Level, MCL) بالبكتيريا القولونية يساوي صفراً.

يتم جمع عينات مياه الشرب التي ستختبر في قارورة زجاجية تحتوي على 30 - 15 mg من ثيو كبريتيات الصوديوم تعتبر كافية لتحييد الماء وإيقاف تفاعل التعقيم الناتج من إضافة 10 mg/l من الكلور. تبدأ إجراءات الاختبار برجّ قارورة العينة بقوة كي تصبح البكتيريا ومواد الدقائق معلقة. يتمّ إبعاد غطاء قارورة الاستنبات بشكل معقم وذلك لإضافة 100 ml من عينة الماء وكذلك لإضافة محتويات ظرف من كاشف Colilert®. يحوي هذا الكاشف على مغذيات بكتيرية ومركبين خاصين هما (ONPG, *O*-nitrophenyl-β-*d*-galactopyranoside) و-4 (MUG, methylumbelliferyl-β-*d*-glucuronide)، واللذين يشيران إلى نمو ووجود البكتيريا القولونية وإيشيريشيا كولي. (Colilert® ترتكز على IDEXX's الحائز على براءة اختراع Defined Substratum Technology®).

يتم وضع قارورة الاستنبات في حاضنة لمدة 24 ساعة تحت درجة حرارة 35°C، يستخدم نمو البكتيريا القولونية في ®Colilert الأنزيم β-galactosidase كي يقوم بأيض ONPG وتغيير لون العينة من صاف إلى أصفر. فإذا لم يظهر اللون الأصفر فإنّ الاختبار سلبي ولا يوجد قولونيات في عينة الماء. تُستخدم الإيشيريشيا كولي الأنزيم β-galactosidase لأيض الـ MUG وإحداث فلورة بتأثير أشعة فوق البنفسجية ذات طول موجة 365 نانومتر (الفلورة هي إصدار ضوء مرئي ناتج من امتصاص الإشعاع القادم من مصدر آخر). إذا تألق السائل ذو اللون الأصفر بلون فلورة أزرق فإنّ الاختبار إيجابي بالنسبة إلى الإيشيريشيا كولي. وغياب اللون الأزرق يعني أن الاختبار سلبي.

كما يمكن استخدام ®Colilert في تحاليل (MPN) باستخدام صينية كوانتي (Quanti-Tray™) لعدّ القولونيات الكلية والإيشيريشيا كولي. بعد تحضير عينة مياه قدرها 100 ml بواسطة ®Colilert في قارورة استنبات (P-A) أبعد غطاء قارورة الاستنبات بشكل معقم واسكب العينة على صينية كوانتي، املأ الحجيرات العشر ثم أغلق الصينية. ضع الصينية في حاضنة لمدة 24 ساعة تحت درجة حرارة 35°C. قم بعدّ الحجيرات ذات اللون الأصفر(للقولونيات الكلية)، والحجيرات المتألقة بالفلورة (للإيشيريشيا كولي). يظهر الجدول 3-3 نتائج قياس قرينة (MPN) والحدود القصوى للوثوقية لمجموعات مختلفة من النتائجة الإيجابية والسلبية لحجيرات التخمير العشر والتي حوى كلّ منها جزء قدره 10 ml من العينة.

مثال 3-2

اختُبر التدفّق الخارج من محطة معالجة ثالثية لتحديد كلّ من القولونيات الكلية والقولونيات البرازية. طُعّمت عشرة أنابيب تخمير تحوي سائل لوريل تريبتوز بروث بـ 10 ml بروتين من عينة 100 ml وحضنت تحت درجة حرارة 35°C. أظهرت أربعة أنابيب نمو مع انطلاق غاز. نُقلت الأجزاء النامية من الأنابيب

الإيجابية الأربعة إلى أنابيب تخمير تحوي وسط EC وحُضنت تحت درجة حرارة 44.5°C. وبعد 22 ساعة أظهر أنبوبان من الأنابيب الأربعة انطلاق غاز. ما هي قرائن (MPN) للقولونيات الكلية والقولونيات البرازية؟ ما هي نسبة حدود وثوقية الـ 95% لقرينة القولونيات البرازية؟

الحل

من الجدول 3-3 يتبين أن 4 من أصل 10 تفاعلات إيجابية، بلغ عد القولونيات الكلية 5.1 قرينة (MPN index/ 100 ml). كما تبين أن 2 من أصل 10 تفاعلات، بلغ عدد القولونيات البرازية 2.2 قرينة (MPN index/100 ml) للحدّود القصوى للوثوقية 0.26 و8.1 .

اعتيان واختبار مياه مختلفة

يتم القيام باختبار القولونيات بأسرع ما يمكن بعد الاعتيان. فإنّ لم يك ممكناً البدء بالمعالجة المخبريّة خلال ساعة، تُحفظ العينات فوراً بعد جمعها في ثلاجة أو في صندوق ثلج تحت درجة حرارة أقل من 10°C. والزمن الأقصى للحفظ البارد الموصى به هو 6 ساعات. وتُستثنى عينات مياه شرب التجمّعات السكنية إذ يتوجّب إرسالها بالبريد أو بالباص إلى مخبر مركزي. وفي هذه الحالة يجب وضع العينة في في جمّادة لمدة تصل إلى 30 ساعة قبل اختبارها.

إن القارورة النموذجية لاعتيان مياه الشرب قارورة مصنوعة من زجاجٍ بنيٍّ ذات فوهة عريضة مزوّدة بغطاء محلزن وذات حجم يبلغ 120 ml لجمع عينة قدرها 100 ml لاختبارها. تعقّم القارورة في محم مع إضافة بضع نقاط ضمنها من مادة تزيل الكلورة وذلك لتحييد ما يبلغ 15 mg/l من الكلور المتبقي.

إن أفضل صنبور مياه في نظام التوزيع لأخذ العينات هو صنبور نظيف مستقل يحوي ماءً بارداً بداخله، يُزود بالماء مباشرة من خط الخدمة الموصول بخط الماء الرئيس للتجمّع السكاني. وينبغي تجنب الصنابير التي تلي جهاز إزالة عسرة الماء،

والمرشحات، والخزّانات، والصهاريج، والصنابير التي تعاني التسرب، والصنابير الخلاطة والصنابير المزودة بمصفاة والصنابيرالرئيسة. وإذا كان لابدّ من استخدام صنبور خلاط مياه بارد – مياه ساخن، أزل مصفاة الصنبور الداخلية إن أمكن ذلك ودع الماء الساخن يتدفّق لمدة دقيقتين ثم أغلق الماء الساخن وأدر الماء البارد لغسل الصنبور ولأخذ العينة. لا يوصى بغسل الصنبور بمادة مقصرة ولا بتسخينه بلهب.

وبانتقاء الصنبور المناسب لجمع العينة افتح الصنبور إل أقصاه ودع الماء البارد ينساب لمدة دقيقتين أو ثلاث أو لزمن كاف لتنظيف خط التخديم بالماء. أغلق الصنبور جزئياً لتخفيف انسياب الماء وخذ العينة. أبقِ قارورة العينة مغلقة حتى لحظة ملئها، أبعد الغطاء، املأ القارورة (بدون شطفها) حتى قاعدة عنقها ودع فراغ هواءٍ في القمة ثم أغلقها فوراً. تأكد خلال أخذ العينة من عدم مسها أو السماح بتماس أيّ جسم للجزء الداخلي للغطاء أو للقارورة أو لعنقها المحلزن ولا تضع الغطاء على الأرض. ينبغي على من يأخذ العينة أن يغسل يديه أو يديها قبل فتح الزجاجة. لا تسمح معايير سويات التلوّث القصوى الصارمة المتعلقة بتلوّث مياه الشرب بالقولونيات بأي تهاون في تلوّث غير مقصود للعينة من قبل من يقوم بأخذ العينة.

إن تقنية الوجود – الغياب هي اختبار القولونيات الموصى به من قبل EPA للمراقبة المايكروبيولوجية لمياه الشرب، فإذا كان الاختبار إيجابياً لمجموعة القولونيات، يتمّ اختبار اللون الأصفر في سائل (P-A) بواسطة تألق الفلورة لتقدير ما إذا كان نمو القولونيات من الإيشيريشيا كولي.

يقيد تدفّق مياه الصرف بعد المعالجة الحيويّة والكلورة عادةً بالمعايير الميكروبيولوجية بعدم وجود أكثر من 200 قولونية برازية في كلّ 100 ml. إن الاختبار المفضّل في ذلك هو تقنية التخمير متعدد الأنبوب حيث تحدّد في مرحلته الأولى القولونيات الكلية بينما تحدّد في مرحلته الثانية القولونيات البرازية. والبديل عن هذه التقنية هو تقنية المرشح الغشائي.

يقيّد تدفّق مياه الصرف بعد المعالجة الثالثية بالتخثير الكيميائي والترشيح بأوساطٍ حُبيبية عادةً بعدم وجود أكثر من 2.2 قولونية كمعدل في كلّ 100 ml وألا تتجاوز القيمة القصوى 23 في كلّ 100 ml. إن الإجراء الاختباري المتبع هو التخفيف التسلسلي في تخمير متعدد الأنابيب باستخدام عشرة أنابيب يطعم كلّ مها بـ 10 ml من عينة حجمها 100 ml.

يجري في مسوحات المياه السطحية في البحيرات والأنهار عدّ القولونيات الكلية و/ أو القولونيات البرازية لمراقبة نوعيّة الماء. فمثلاً القرينة العدديّة للقولونيات في الاستجمام الذي ينضوي إلى تلامس جسدي قد أسست على حدٍ أقصى قدره 200 قولونية برازية في 100 ml و1000 قولونية كلية في 100 ml.

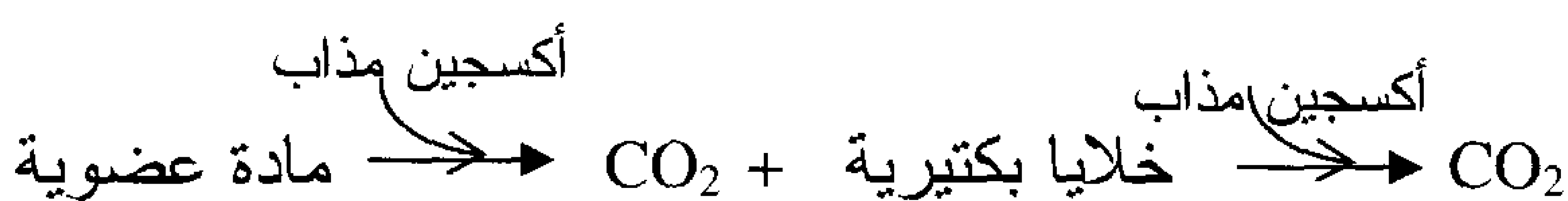
إن الإجراءات الاختبارية الشائعة هي تقنية التخمير متعدد الأنبوب وتقنية المرشح الغشائي.

10-3 احتياج الأكسجين الحيوي كيميائي

إن احتياج الأكسجين الحيوي كيميائي BOD هو المتحوّل الأكثر شيوعاً لتقدير قوة مياه الصرف المدنيّة أو مياه الصرف العضويّة الصناعيّة. وأوسع تطبيقاته يكمن في قياس حمولات الصرف الواردة إلى محطات المعالجة وفي تقوية كفاءة أنظمة المعالجة هذه. إضافة إلى ذلك يستخدم اختبار BOD في تقدير احتياجات الأكسجين المطلوبة لتدفّق مياه الصرف المعالج وللمياه الملوّثة. بينما يكون محدود القيمة في قياس الاحتياج الفعلي للأكسجين للمياه السطحية، والاستنتاج من نتائج الاختبار احتياجات الجداول الفعلية للأكسجين يبقى مثار تساؤل، نظراً إلى أن بيئة المخبر لا يمكنها أن تحاكي الظروف الفيزيائية والكيميائيّة والحيوية للجداول.

وBOD تعريفاً هو كميّة الأكسجين المُستخدمة من قبل تجمّع مختلط من العضويات المجهرية في الأكسدة الهوائية (للمادة العضويّة في عينة مياه صرف) تحت درجة حرارة $20^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$ ضمن حاضنة هوائية أو حمام مائي. يوضع كأس

بلاستيكي أو من رقاقة قصدير فوق الفوهة المتسعة لقارورة BOD خلال الحضانة لتخفيف التبخّر من مانع تسرب الماء. توضع كميات مقاسة من مياه الصرف مخفّفة بماء معد مسبقاً في قارورات BOD سعتها 300 ml (شكل 3-11). تم إشباع مياه التخفيف الحاوي على منظم من الفوسفات (pH 7.2)، كبريتات المغنزيوم، كلوريد الكالسيوم ، كلوريد الحديديك، بالأكسجين المُذاب DO. يتمّ زرع العضويات المجهرية لتؤكسد المواد العضويّة في الصرف، إن لم يكن هناك عضويات مجهرية كافية في عينة مياه الصرف. توضّح المعادلة 3-12 التفاعل الحيوي العام الجاري. تقوم مياه الصرف بإمداد المادة العضويّة، وتقوم مياه التخفيف بتوفير DO. إن التفاعل الرئيسي هو أيض المادة العضويّة إضافة إلى امتصاص الأكسجين المُذاب بواسطة البكتيريا وتحرير ثاني أكسيد الكربون وإنتاج زيادة مادية بالتلوّث. ينجم التفاعل الثانوي من استعمال البكتيريا المستهلكة للابتدائي، وهو تفاعل يوصف بتفاعل المفترس – الضحية(Predator-Prey Reaction). يُربط استنزاف الأكسجين المُذاب في قارورة الاختبار مباشرةً بكميات المادة العضويّة المتحلّلة. يتمّ حساب BOD لمياه صرف حيث توجد بالأساس عضويات مجهرية في عينة منها، ولا تتطلّب أيّ زرع خارجي، باستخدام المعادلة 3-13. (الاختبار المعياري يتضمن فترة حضانة لمدة خمسة أيام تحت درجة حرارة 20°C).



(12-3) خلايا ابتدائية +

$$BOD = \frac{D_1 - D_2}{P} \qquad (13\text{-}3)$$

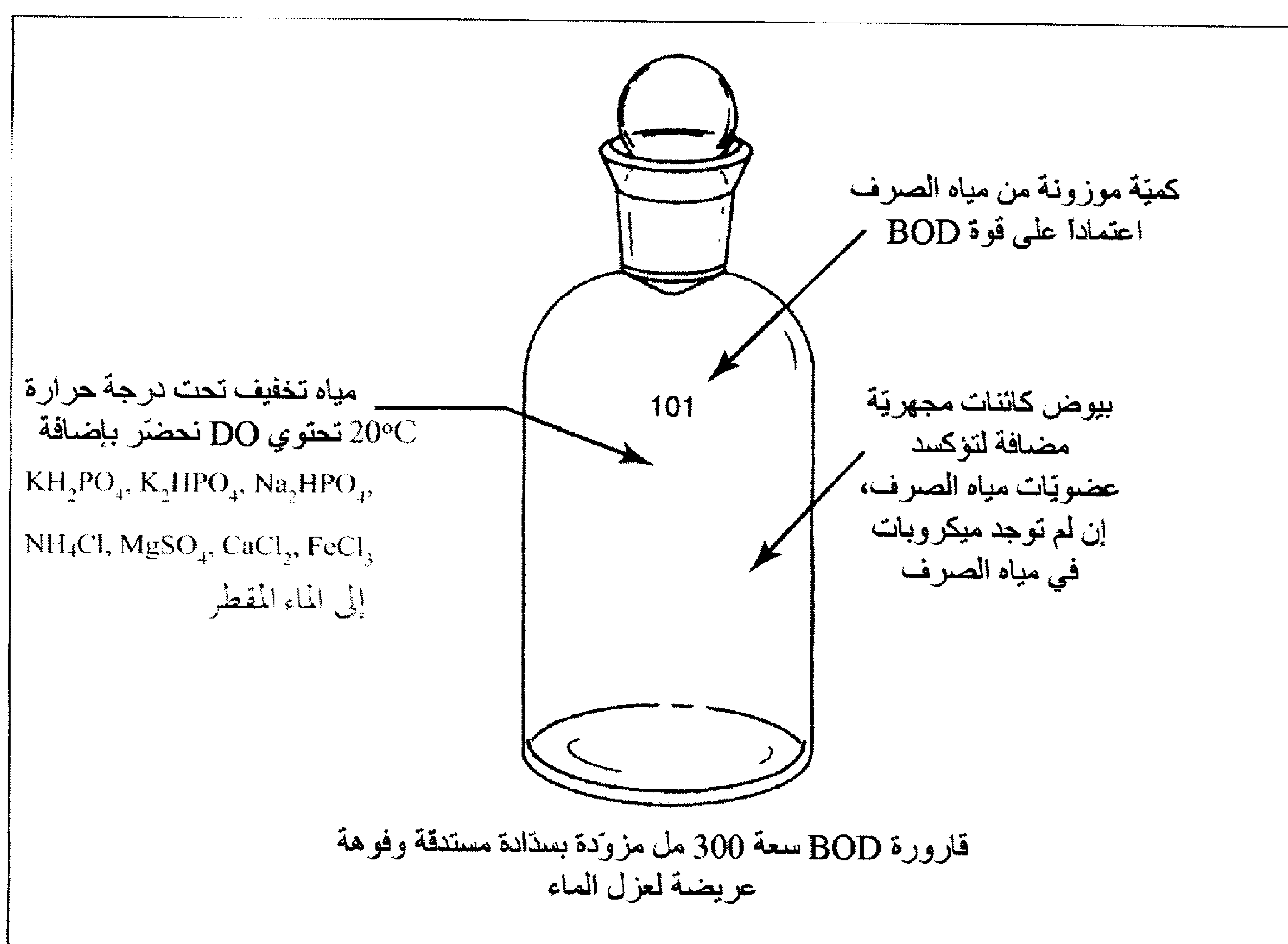
حيث BOD = احتياج الأكسجين الحيوي كيميائي، mg/l

D_1 = الأكسجين الأولي المُذاب في عينة مياه الصرف المخففة بعد حوالي 15 min من التحضير مقدراً بالـــ mg/l.

D_2 = الأكسجين النهائي المُذاب في عينة مياه الصرف المخففة بعد فترة حضانة قدرها 5 أيام مقدراً بالـــ mg/l.

P = الكسر العشري لعينة مياه الصرف المُستخدمة

$$= \frac{\text{حجم عينة مياه الصرف } ml}{\text{حجم قارورة } BOD\ ml}$$

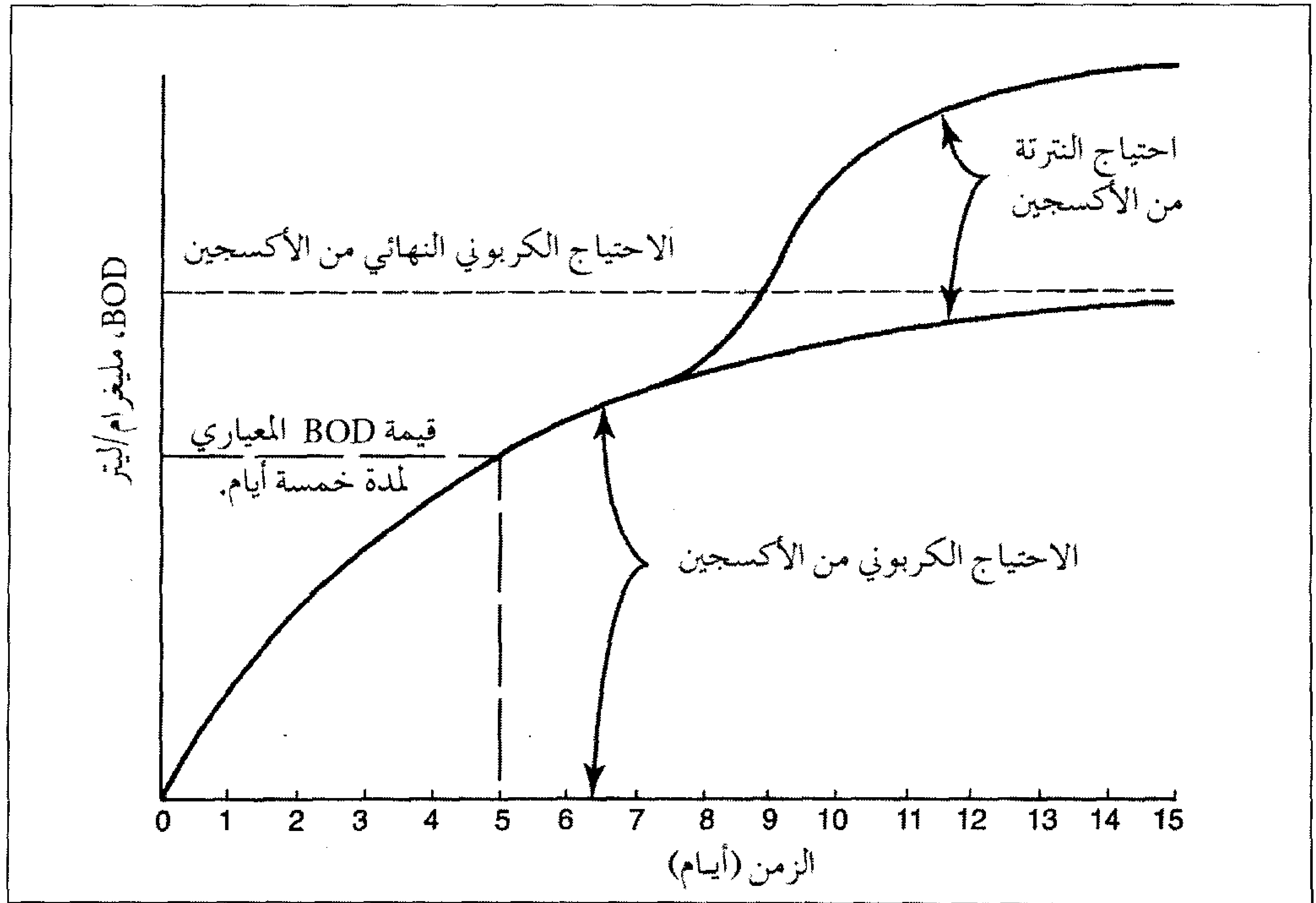


شكل 3-11: المكوّنات الأساسيّة لاختبار احتياج الأكسجين الحيوي كيميائيBOD هي كميّة مقاسة من عينة مياه الصرف قيد التحليل، ماء مخفف مجهز مسبقاً يحوي DO، وزرع عضويات مجهرية إن لم تكن موجودة في مياه الصرف

إن احتياج مياه الصرف للأكسجين الحيوي كيميائي لا يمثّل في الواقع قيمةً نقطية،

منعزلة، بل هو عملية مستمرة بتابعية الزمن. يظهر المنحني 3-12 كميّة كلّ من BOD المقدّم، وكمية الأكسجين المُذاب المُستنزَف بتتابع العمليات الحيويّة مع الزمن. يتتابع احتياج الأكسجين الكربوني (معادلة 3-12)، بمعدل متناقص مع الزمن نظراً إلى تناقص النشاط البيولوجي مع تناقص إمداد الطعام المتوفر. والتمثيل الأفضل لشكل هذا المنحني الافتراضي هو حركية من المرتبة الأولى بالصيغة الواردة في المعادلة 14-3، حيث t هو الزمن مقدراً بالأيام وk ثابت المعدل. واعتماداً على هذه المعادلة ومن أجل قيمة k تساوي 0.1 باليوم فإنّ القيمة العامة لـ BOD اللازم لمياه الصرف المنزلية، تبلغ 68% من BOD الكربوني النهائي المُقدّم خلال خمسة أيام.

BOD t ،في أيّ زمن = BOD النهائي $(1-10^{-kt})$ **(14-3)**



شكل 3-12: تفاعل احتياج الأكسجين الحيوي كيميائي نظري يظهر منحنيي الاحتياج الكربوني واحتياج النترتة من الأكسجين

يمكن للبكتيريا المنترتة طرح احتياج المطلوب من الأكسجين خلال اختبار BOD الموضّح في المعادلتين 3-7 و3-8. ولحسن الحظ فإنّ نمو البكتيريا يتأخر عن نمو العضويات المجهرية التي تقوم بالتفاعل الكربوني. ولا تحدث النترتة عموماً إلا بعد بضعة أيام تلي فترة حضانة معيارية تبلغ 5 أيام لاختبارات BOD في مياه صرف غير معالجة. قد تبدي بعض تدفّقات محطات المعالجة وبعض مياه الجداول نترتةً أولية إذا احتوت العينة على عدد كبير نسبياً من البكتيريا المنترتة. تُوصي الطرق المعيارية لضمان عدم حدوث النترتة، بإضافة 10 mg/l من 2–كلور–6 (ميثيل ثلاثي الكلور) بيريدين إلى مياه التخفيف لتوقف تشكّل النترات.

لا يمكن تحديد درجة استنساخ اختبار BOD بدقة نظراً إلى تغيرات ممكنة الحدوث في التحلل البكتيري للمواد العضويّة المختلفة. ويمكن لفَنيي المخابر أن يقيّموا إجراءاتهم دورياً وذلك عبر قيامهم بتحليل BOD على محلول معياري من الغلوكوز وحمض الغلوتاميك يحوي على 150 mg/l من كلّ منهما. يجب أن يكون معدّل قيمة BOD في مجال 200 ± 30 mg/l، ومعدل k بحدود 0.16 إلى 0.19، ما يمثّل انحرافاً قدره ± 15% من قيمة المعدل. تظهر الاختبارات المنفذة على مياه صرف حقيقية عادةً ملاحظات تتباين بين 10 و20% على جانبي المتوسط. لقد سجلت أعلى تبيانات في اختبارات مياه الصرف الصناعيّ التي تتطلّب زرعاً، أو في عينات تحوي مواداً تعيق النشاط الحيوي، أو في عينات تدفّقات محطة معالجة تأثرت بالنترتة.

يمكن لمياه التخفيف الملوّثة وقارورات الحضانة الوسخة أن تسبّب أخطاءً في نتائج اختبارات الـ BOD. يركز كتاب (*Standard Methods*) على التنظيف الملائم لقارورات وعلى إجراء تحليل عينات مياه تخفيف عقيمة في أثناء اختبارات BOD كتدقيقٍ على نوعيّة مياه التخفيف غير المستزرع. ولا ينبغي لكمية استهلاك الأكسجين المُذاب DO في مياه التخفيف غير المستزرع مع منظم الفوسفات والمحاليل المغذية اللاعضوية المضافة أن تزيد عن 0.2 mg/l ، ويفضّل أن تكون أقلّ من 0.1 mg/l بعد خمسة أيام من الحضانة تحت درجة حرارة $20^{\circ}C$. وإذا كانت نوعيّة

مياه التخفيف مثار تساؤل، فيمكن أن يتمّ اختبار مدى قبولها قبل استخدامها في تحاليل BOD. والإجراء في ذلك يكون بإضافة مواد زرع كافية إلى مياه التخفيف قبل اختبار قدرته على إنتاج استهلاك DO قدره 0.05 إلى 0.1 mg/l خلال خمسة أيام. ولا ينبغي أن يتجاوز الاستخدام الفعلي للأكسجين 0.1 إلى 0.2 mg/l.

لا يوجد علاقة متجانسة بين COD وBOD في مياه الصرف، باستثناء أن قيمة COD يجب أن تكون أكبر من BOD، نظراً إلى أن الأكسدة الكيميائيّة تحلّل المادة العضوية غير القابلة للتحلل بيولوجياً، ولكون اختبار BOD المعياري يقيس فقط الأكسجين المُستخدم في أيض المادة العضويّة لمدة خمسة أيام. إن المقارنة بين COD وBOD لمياه صرف معينة يمكن أن تُبنى عبر مقارنة إحصائية لتحاليل مخبريّة متعددة. ولسوء الحظ يُمكن لهذه العلاقة أن تغدو غير صالحة نتيجة تغيرات بسيطة تحدث من يوم إلى آخر في نوعيّة مياه الصرف المنزلي. ويفترض أحياناً، ونتيجة للحاجة إلى تحويل بيانات احتياج الأكسجين حتى ولو كانت دقّة النتائج مدعاة تساؤل، أن تكون COD مياه الصرف المذابة مساوية عددياً لقيمة BOD النهائية.

BOD في مياه الصرف المنزلية

في ما يأتي وصف لاختبار BOD نموذجي، الخطوة الأولى فيه هي تقدير كميّة الجزء من العينة الذي يجب وضعه في كلّ قارورة من قارورات BOD. يمكن استخدام معلومات الجدول 3-4 أو المعادلة 3-13 لاختيار الكميات المناسبة. فمثلاً ومن أجل مياه صرف ذات محتوى BOD يقدر بـــ 350 mg/l، يشير الجدول 3-4 إلى أن أحجام عينات تتراوح بين 2 و5 مل من هذه المياه لكل قارورة 300 مل ستكون مناسبة، أو بإحلال قيمة لـــ BOD تساوي 350 mg/l في المعادلة 3-13، فإن قارورة 300 مل ولنقص DO مرغوب قدره 5 mg/l فإنّ حجم جزء عينة مياه الصرف سيكون 4.3 مل. ومن أجل اختبار BOD صالح للتطبيق، يجب استهلاك 2 mg/l على الأقلّ من DO، لكن يجب أن لا يقل DO النهائي عن 1 mg/l. ونظراً

إلى أن DO الأولي في مياه التخفيف يبلغ حوالى 8 mg/l، فإنّ كميّة معدّلها 5 mg/l ستكون متاحة للاستهلاك البيولوجي بين الحدّ الأدنى المرغوب البالغ 2 mg/l والحد الأقصى البالغ 8 mg/l.

جدول 3-4: الأجزاء المقترحة من مياه الصرف والتخفيفات لإعداد اختبارات الـ BOD

عبر قياس مباشر لمياه الصرف في قارورات		عبر مزج مياه الصرف في مياه التخفيف	
مياه الصرف (ml)	مجال BOD (mg/l)	نسبة المزيج %	مجال BOD (mg/l)
0.20	3000 إلى 10.500	0.10	2000 إلى 7000
0.50	1200 إلى 4200	0.20	1000 إلى 3500
1.0	600 إلى 2100	0.50	400 إلى 1400
2.0	300 إلى 1050	1.0	200 إلى 700
5.0	120 إلى 420	2.0	100 إلى 350
10.0	60 إلى 210	5.0	40 إلى140
20.0	30 إلى 105	10.0	20 إلى 70
50.0	12 إلى 42	20.0	10 إلى 35
100	6 إلى 21	50.0	4 إلى 14

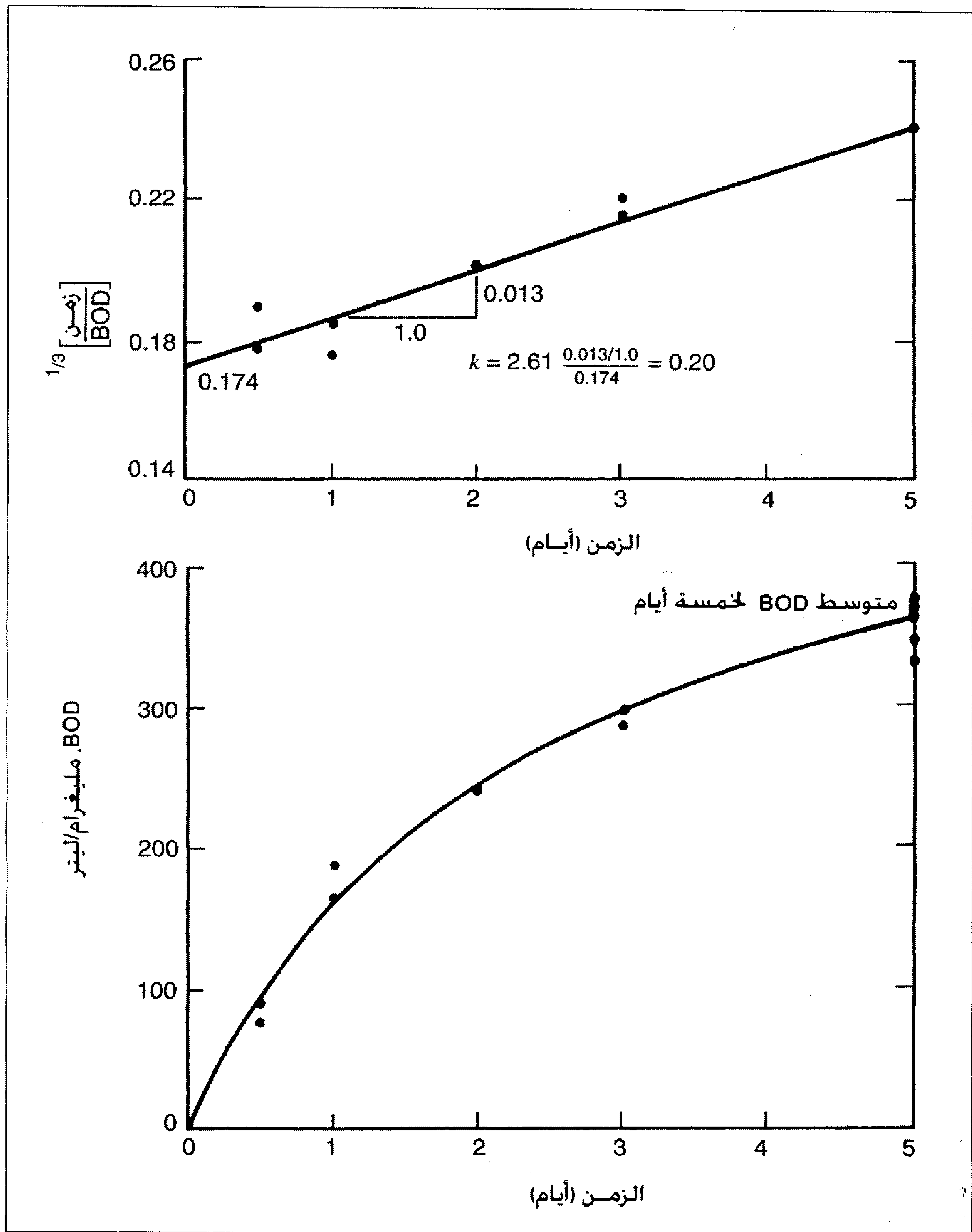
جدول 3-5: بيانات BOD نموذجيّة من تحليل مياه صرف المدينة لتحديد قيمة BOD لمدة خمسة أيام و تقدير معدّل k (k-Rate) للتفاعل الحيوي(*)

رقم القارورة	جزء مياه الصرف	DO الأولي (mg/l)	فترة الحضانة (أيام)	DO النهائي (mg/l)	انخفاض قيمة DO (mg/l)	DO المحسوب (mg/l)
اختبارات BOD لتقدير قيمة معدّل 5 أيام						
1	2.0	8.3	0			
2	4.0	8.4	0			
3	6.0	8.4	0			
متوسط = 8.4						
4	2.0	8.4	5.0	5.9	2.5	375

360	2.4	6.0	5.0	8.4	2.0	5
345	4.6	3.8	5.0	8.4	4.0	6
365	4.9	3.5	5.0	8.4	4.0	7
	اختبار غير صالح	0	5.0	8.4	6.0	8
	اختبار غير صالح	0	5.0	8.4	6.0	9
المتوسط = $\overline{360}$						
تحليل قيم BOD لحساب معدل k (k-Rate)						
90	1.2	7.2	0.5	8.4	4.0	10
75	1.0	7.4	0.5	8.4	4.0	11
165	2.2	6.2	1.0	8.4	4.0	12
190	2.5	5.9	1.0	8.4	4.0	13
240	3.2	5.2	2.0	8.4	4.0	14
240	3.2	5.2	2.0	8.4	4.0	15
300	4.0	4.4	3.0	8.4	4.0	16
285	3.8	4.6	3.0	8.4	4.0	17

(*) تم رسم النتائج في الشكل 3-13. كلّ قارورات BOD لها حجم 300 ml.

لقد تمّ موازنة وتثبيت الماء المقطر المُستخدم في التخفيف تحت درجة حرارة 20°C بوضعه في حاضنة BOD. يسحب بعد ذلك من الحاضنة ويجهز بتهويته وإضافة أربع محاليل منظمة ومغذية (شكل 3-11). لا يتطلب الأمر زرعاَ خارجياً لمياه الصرف المنزلية نظراً إلى كونها موجودة أصلاً في العينة. وللتأكد من أن بعض القارورات التي تمّ تحضيرها توفر بيانات اختبار صالحة، يتم تهيئة ثلاثة تخفيفات بحيث يجهز من كلّ تخفيف قارورتان أو ثلاث، إضافة إلى ثلاث قوارير لقياسات الأكسجين الأولي المُذاب وثلاث قوارير أخرى عقيمة تحوي ماء مقطر فقط. يتمّ إضافة الأجزاء المقاسة من مياه الصرف مباشرة إلى قوارير BOD الفارغة بالسحّاحة، والتي ستُملأ بماء مخفف مجهز مسبقاً عبر سيفنتها بخرطوم لتجنب دخول الهواء إلى العينة.



شكل 3-13: منحنى BOD – زمن وتقدير بياني لمعدّل k لبيانات مياه الصرف المعطاة في الجدول 3-5

يلخص الجدول 3-5 تحضيرات العينة وقياسات DO لهذا المثال التوضيحي. لقد استخدمت حجوم 2.0 ml و 4.0 ml و 6.0 ml من مياه الصرف. حيث تمت فوراً

معايرة القوارير الثلاثة الأولى حجمياً لحساب كميّة الأكسجين المُذاب باستخدام تعديل أزيد لطريقة قياس اليود. أما القوارير التسع الباقية إضافة إلى القوارير الثلاث العقيمة من مياه التخفيف فيتم احتضانها لمدة خمسة أيام تحت درجة حرارة $20^{\circ}C$، ثم تعاير حجمياً لتحديد DO المتبقي. تحسب قيم BOD لكل قارورة باستخدام المعادلة 3-13. بلغت قيمة متوسط BOD لأربعة من أصل ستة اختبارات 360 mg/l، واعتبرت قارورتان غير صالحتين لإن DO قد استنزف قبل نهاية فترة حضانة الخمسة أيام. لقد أظهرت القوارير الثلاث العقيمة امتصاصDO أقلّ من 0.2 mg/l.

تقدير معدّل *k* لـ BOD

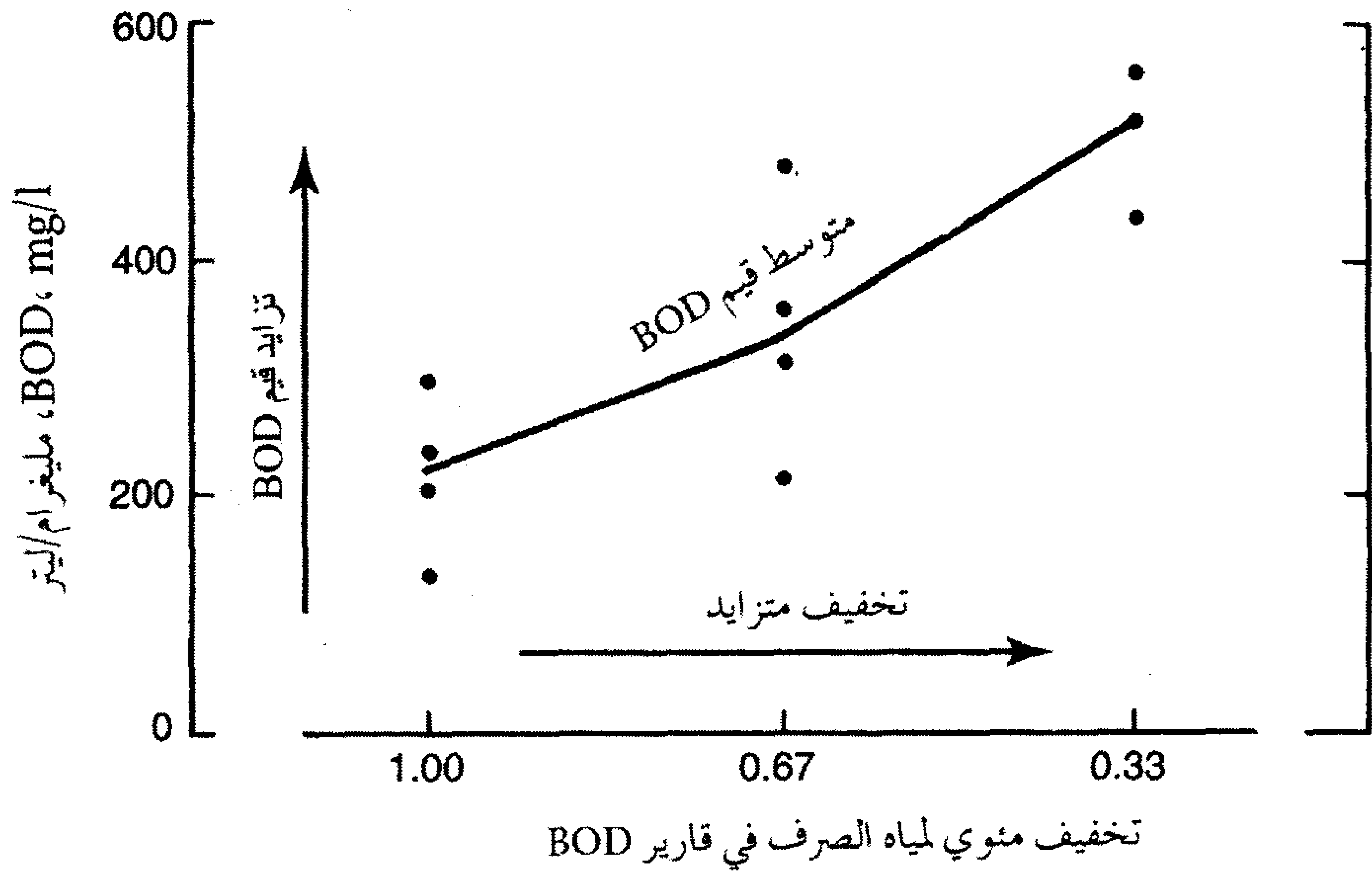
يمكن حساب ثابت المعدّل *k* في المعادلة 3-14 من قيم BOD المقاسة في أزمنة مختلفة. يتم تحليل القوارير التي تحمل الأرقام 10 إلى 17 من التحاليل في الجدول 3-5، بعد فترات حضانة تراوحت من 0.5 إلى 3 أيام. تمّ رسم هذه البيانات وتلك المتعلقة بمتوسط قيم الحضانة لمدة خمسة أيام في الشكل 3-13. إن شكل منحنى BODالزمني نموذجي لمياه صرف منزلية متأتّية بصورةٍ أساسيّة من مصادر محلية. يبين الجزء العلوي للشكل 3-13 طريقة بيانية لتقدير معدّل *k*. إن قيمة الجذر التكعيبي للزمن بالأيام مقسوماً على BOD محسوباً بالـــ mg/l قد حُسب من البيانات المخبريّة وقد تمّ رسمها كقيم لمحور الصادرات مقابل الأزمنة الموافقة على محور العينات ويستخدم أفضل خط ممكن رسمه عبر هذه النقاط في حساب معدّل *k* باستخدام العلاقة الآتية:

$$k = 2.61\ B/A \qquad \textbf{(15-3)}$$

حيث k= ثابت المعدل، باليوم

A= مسقط الخط المستقيم على محور الصادرات

B= ميل الخط



شكل 3-14: منحنى قيم الـــ BOD، المعطاة في الجدول 3-6، يبين ازدياد الـــ BOD لنفس العينة الصناعية الخاضعة لازدياد تخفيف المحلول. العينة هي مياه صرف من معالجات أغذية تحتوي على مادة معقمة

تحليل BOD لمياه الصرف الصناعيّ

يمكن اجراء اختبار BOD في معظم النفايات العضويّة المتأتية من الصناعات الغذائية ومصادر أخرى عرضة للتحلل الحيوي. ولكن ينبغي توخي الحيطة في تحييد حمضية مياه الصرف، وفي توزيع العضويات المجهرية المأخوذة من مياه صرف قديمة أو مياه جداول ملوّثة بالنفايات، على قوارير الاختبار أو مياه التخفيف وفي استخدام تخفيف كافٍ بحيث يمكن تقليل السُميّة والوصول إلى الحدّ الأقصى للـــ BOD. إضافة إلى الجمع والتوليف الحذرين للعينات تبعاً لتغيرات انسياب مياه الصرف فإنّه يجب تسجيل معلومات خاصة في ما يتعلق بمياه الصرف الصناعيّ. إن الإنتاج الصناعيّ، وتحديداً نمط وكمية المنتجات المصنعة، وشروط التشغيل المحدّدة في أثناء فترة الاعتيان، يجب تسجيلها لمقارنتها بكمية قوة مياه الصرف الناتجة. يتطلب الأمر اعتيان عدد من العينات المركبّة على مدى فترة زمنية طويلة

في الصناعات التي تتمتع بجداول إنتاج مختلفة وذلك للمواءمة بين كمية مياه الصرف الناتجة وكميات الإنتاج المصنع.

تهدف المعالجة الأولية المسبقة إلى تحييد حمضية العينة إن تطلب الأمر وجعلها بالتالي قيمة مساوية لـ pH 7 وذلك باستخدام حمض الكبريتيك أو هيدروكسيد الصوديوم لإزالة القلوية الكاوية أو الحمضية. وينبغي ألا تتغير pH مياه التخفيف عند إضافة مياه الصرف في أثناء تحضير قوارير أقلّ التخفيفات لاختبار BOD. ينبغي أن تتم إزالة الكلور من العينات الحاوية على كلور قبل توزيعها. وغالباً تتبدد كميّة الكلور المتبقي إذا تركت العينة لمدة ساعة أو ساعتين، غير أن كميّة الكلور الكلية يجب أن تتبدد عبر إضافة محلول كبريتيت الصوديوم. وتتطلّب مياه الصرف الصناعي الحاوي على مواد سميّة أخرى دراسة ومعالجة مسبقة خاصتين. وفي الحالات المتطرفة عندما لا يمكن تطوير تقنية لتحييد حمضية المواد الكيمائيّة، يتمّ التخلي عن اختبار BOD ويستعاض عنه باختبارات (Chemical Oxygen Demand COD).

يتم الكشف غالباً عن مواد مجهولة تعيق النمو الحيوي عبر القيام باختبارات BOD بعناية. يلخص الجدول 3-6 والشكل 3-14 نتائج تحليل مياه الصرف الناتجة من معالجة المواد الغذائية والحاوية على مركب متداخل. لقد كان مصدر السُميّة مبيد بكتيري يستخدم في تعقيم أنابيب وخزانات الإنتاج. لقد كشف الدليل الأول عن المشكلة الكامنة بواسطة مقارنة الطيف الواسع لقيم BOD المسجّلة في قارورات الاختبار للتخفيف نفسه بنسبة 0.67%، حيث تباينت الأرقام من 220 إلى 485 mg/l. والأهم من ذلك أن الاختبارات قد أظهرت قيماً متزايدة لـ BOD مع تزايد التخفيف. إن تركيز المواد الكيمائيّة السامّة، وبالتالي إعاقة النشاط الحيوي يكون أشد في التخفيفات الأقلّ [(3.0 ml) من مياه الصرف في قارورة (300 ml)] عنها في التخفيفات الأعلى (1.0 ml) في 300 ml. وينبغي أن تكون نتيجة BOD المسجّلة

أعلى قيمة يتمّ الحصول عليها في اختبارات صحيحة ومُلزِمة، وهذه ولكونها معدّل أكبر تخفيفات ما يجعل امتصاص DO البالغ 2.0 mg/l في حده الأدنى.

جدول 3-6 : بيانات الـ BOD من تحليل مياه صرف صحي لأغذية معالجة تحتوي على مادة معقمة مما تسبب عنها زيادة في قيمة الـ BOD مع ازياد تخفيف المحلول(*)

جزء من مياه الصرف الصحي (ml)	النسبة المؤية لتخفيف مياه الصرف الصحي	الـ BOD المقاس على فترة 5 أيام (mg/l)
3.0	1.00	240
3.0	1.00	205
3.0	1.00	250
3.0	1.00	145
		المتوسط = 210
2.0	0.76	365
2.0	0.76	485
2.0	0.76	315
2.0	0.76	220
		المتوسط = 350
1.0	0.33	520
1.0	0.33	440
1.0	0.33	565
1.0	0.33	520
		المتوسط = 510

(*) يمثل الشكل 3-14 عرض بياني للنتائج.

تحتوي قلّة قليلة جداً من مياه الصرف الصناعيّة على أعداد كائنات بيولوجية كافية لإجراء اختبارات BOD بدون زرع متكيّف. والزرع المثالي هو مزيج

مستنبت من البكتيريا والابتدائيات تمّ تكييفها لتحليل عضويات مياه الصرف الصناعيّ المحدّدة مع عددٍ قليل من البكتيريا المنترتة. يمكن الحصول على العضويات المجهرية اللازمة لمياه صرف الصناعات الغذائية والعضويات المشابهة من مياه صرف قديمة غير معالجة. إن وسط الزرع سائلٌ ذو مواد طافية ناتجٌ من عينة صرف منزلي تُركت في حاوية مفتوحة لفترة 24 ساعة بدرجة حرارة الغرفة، الأمر الذي مكّنها من الاستقرار. ويجب الحصول على بيوتا (مجموعة الحيوانات والنباتات Biota) مياه صرف صناعي ذات مركبات عضوية قابلة للتحلّل الحيوي غير غزيرة في مياه الصرف المنزلي، وذلك من مصدرٍ حاوٍ على عضويات مجهرية مكيفة مع مياه الصرف هذه. فإذا كانت معالجة التصريف الصناعيّ تتم بنظام حيوي، فإنّ الحمأة المنشطة من حوض تهوية، أو وحلٍ متراكم من مرشح تصفية، أو مياه بركة استقرار، ستحوي عضويات مجهرية مكيّفة ومؤقلمة. وعندما تطرح مياه الصرف في مجرى مائي فإنّ مياه الجدول، وعلى بعد أميال باتجاه مجراه من نقطة طرحها، قد تكون مصدراً جيداً لبذور الزرع. ويمكن تطوير وسط زرع مهيئ وذلك باستخدام وحدة مخبريّة صغيرة لسحب وملء حمأة منشطة موضوعة فوق إمداد من مزيج مياه صرف صناعي ومنزلي، وذلك عند عدم توفر مصدر طبيعي من البذور المكروبية أو إذا ثبت أن كميّة هذه البذور غير كافية.

يجب أن تكون كمية مواد الزرع المضافة إلى مياه التخفيف أو إلى كل قارورة مستقلة من قوارير BOD كافية لتؤمن نشاطاً بيولوجياً فعلياً دونما حاجة إلى إضافة الكثير من المادة العضوية. وعندما تُستخدم مياه ملوّثة أو مياه صرف قديمة، فإنّه وبحكم التجربة ينبغي إضافة كميّة من مياه الصرف الحاوية على بذور الزرع بحيث يكون ما مقداره 5 إلى 10% من BOD الكلّي للعينة متأتٍ فقط من احتياج البذور بمفردها للأكسجين. فلنفترض مثلاً أن الماء المُستخدم لبذور الزرع له قيمة BOD تقريبية قدرها 150 mg/l فإنّه باستخدام الجدول 3-4 سيتطلب الأمر حجم 10 ml

لكل قارورة للقيام باختبار BOD على مياه الصرف هذه. ولكن لنثر بذور الزرع يتطلب الأمر 5 إلى 10% من هذه الكمية. ومن ثم فسيتم إضافة 0.5 إلى 1.0 ml في إعداد كل قارورة اختبار مياه الصرف الصناعيّ. وإن كان يفضّل وضع المستنبت في مياه التخفيف على وضعه مباشرة في قارورة BOD، فإنّ النسب المئوية لبيانات المزج المبينة في الجدول 3-4 ستساعد كثيراً في ذلك. وللقيام باختبار BOD على مياه صرف تركيزه 150 mg/l ، يُوصى باستخدام مزيج نسبته 3.5%. ولذلك ينبغي أن يتراوح تركيز مياه الصرف في مياه التخفيف الحامل لبذور الزرع بين 0.17 و0.35 في المئة وذلك عبر إضافة 1.7 و 3.5 ml إلى كلّ لتر من مياه الصرف.

تتم معادلة احتياج بذور الزرع للأكسجين في أثناء القيام بحسابات قيم BOD لاختبار مياه الصرف الصناعيّة المضاف إليها بذور الزرع باستخدام المعادلة 3-16. والمصطلحان D_1 وD_2 يشيران إلى التركيز الأولي والنهائي للأكسجين في قوارير مياه الصرف المضاف إليها بذور الزرع والحاوية على جزء مقداره P من مياه التصريف الصناعيّ أما B_1 وB_2 فيشيران إلى قيم الأكسجين الأولي والنهائي من اختبار BOD منفذ بشكل مستقل على بذور الزرع، في حين f هي نسبة حجم البذور المُستخدمة في اختبار مياه الصرف الصناعيّ إلى الكمية المُستخدمة في الاختبار المجرى على مادة البذور. وبالتالي فإنّ $(B_2 - B_1)f$ هو احتياج البذور للأكسجين

$$\mathrm{BOD} = \frac{(D2-D1)-(B2-B1)f}{P} \qquad \textbf{(16-3)}$$

حيث D_1 = DO لعينة مياه صرف مخففة مضاف إليها بذور بعد حوالي 15 د من تحضيرها.

D_2 = DO لعينة مياه صرف بعد الحضن.

B_1 = DO لعينة بذور مخففة بعد حوالى 15min من تحضيرها.

B_2= DO لعينة بذور مخففة بعد الحضن.

f = نسبة حجم البذور المُستخدمة في اختبار مياه الصرف الصناعيّ إلى الكمية المُستخدمة في الاختبار المجرى على مادة البذور

$$= \frac{\text{النسبة المئوية أو كمية البذور بالـ ml في } D1}{\text{النسبة المئوية أو كمية البذور بالـ ml في } S1}$$

P = الجزء العشري لعينة مياه الصرف المُستخدمة

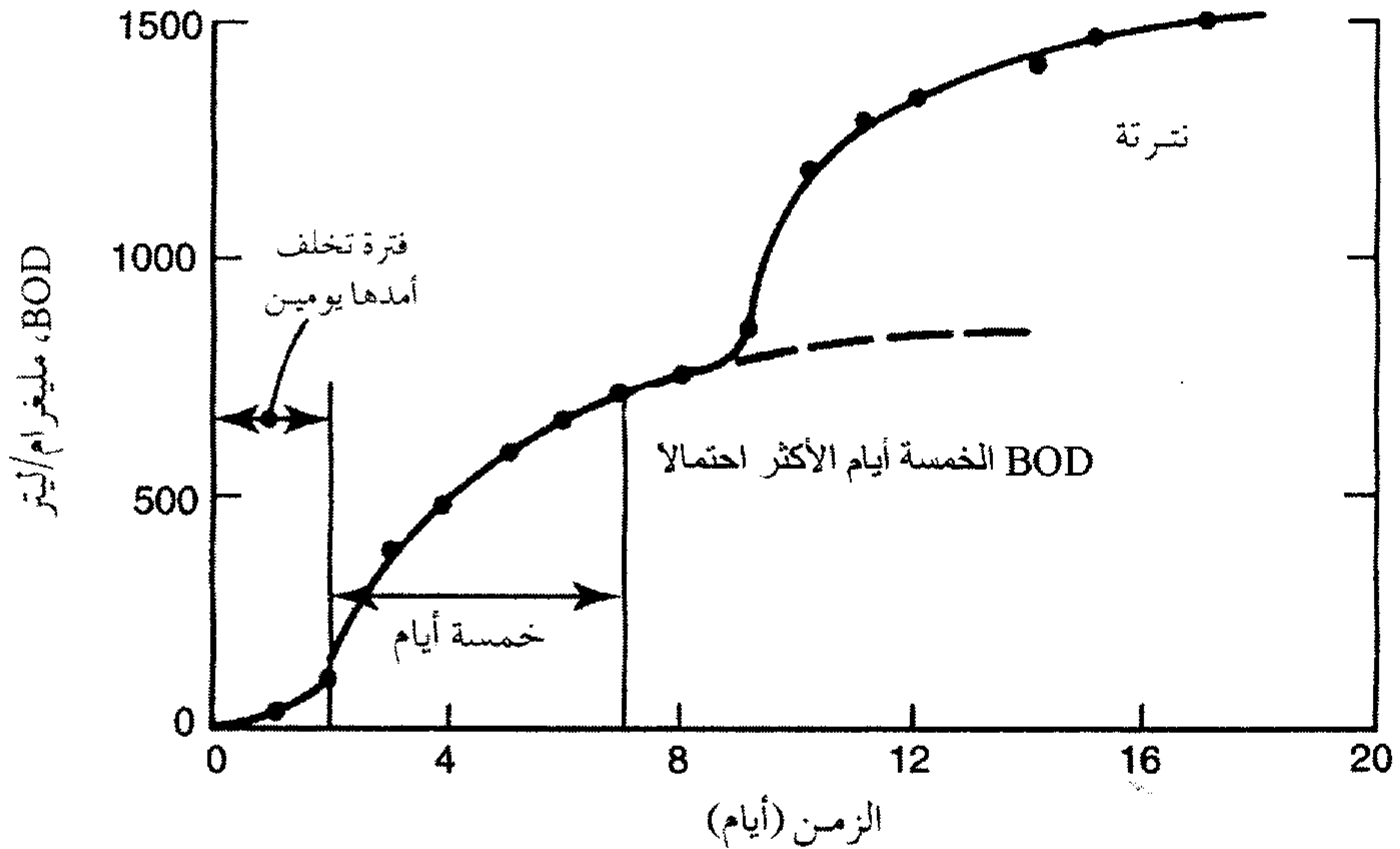
$$= \frac{\text{حجم مياه الصرف}}{\text{حجم مياه التخفيف زائد مياه الصرف}}$$

يحدث غالباً في تفاعل احتياج الأكسجين على مياه الصرف الصناعيّ، زمن تخلف ناتج من بذور غير كافية، أو من عضويات مجهرية غير متكيفة، أو وجود مواد معيقة. ولتقدير BOD بدقة، يجب تحديد زمن التخلف خلال الأيام الأولى للحضانة. ويتم ذلك إما لإعداد قوارير إضافية لاختبار الأكسجين المُذاب بعد ½، 1، 2، 3 يوم أو بتوفر مسبار الأكسجين المُذاب، حيث يتمّ مراقبة معدّل ذوبان الأكسجين في قارورتين أو ثلاثة كلّ يوم خلال فترة الحضانة. يظهر الشكل 3-15 اختبار DO مياه صرف ناتجة من صناعات كيميائية حيث كان زمن التخلف يومين. ويمكن تقريب قيمة BOD الأكثر احتمالاً في اختبار من هذا النوع بإعادة تحديد زمن الصفر (Time Zero) وذلك عند نهاية زمن التخلف، وقياس قيمة الأيام الخمسة اعتماداً على نقطة البدء الجديدة.

قد تكشف أيضاً البيانات عبر فترة الحضانة بعض الانحرافات عن المعايير التي تؤثّر على اختيار قيمة الـــ 5 أيام. ويظهر (الشكل 3-16 أ) تدفّقاً من مشروع تهوية موسّع. وبسبب الأعداد الكبيرة للبكتيريا المنترتة، فإنّ النترتة تبدأ في اليوم الثالث للحضانة وتبذل حوالى نصف الاحتياج الكلّي للأكسجين في اليوم الخامس للاختبار. إن المنحني ثنائي الطور في الشكل 3-16ب ناتج من الاستهلاك السريع

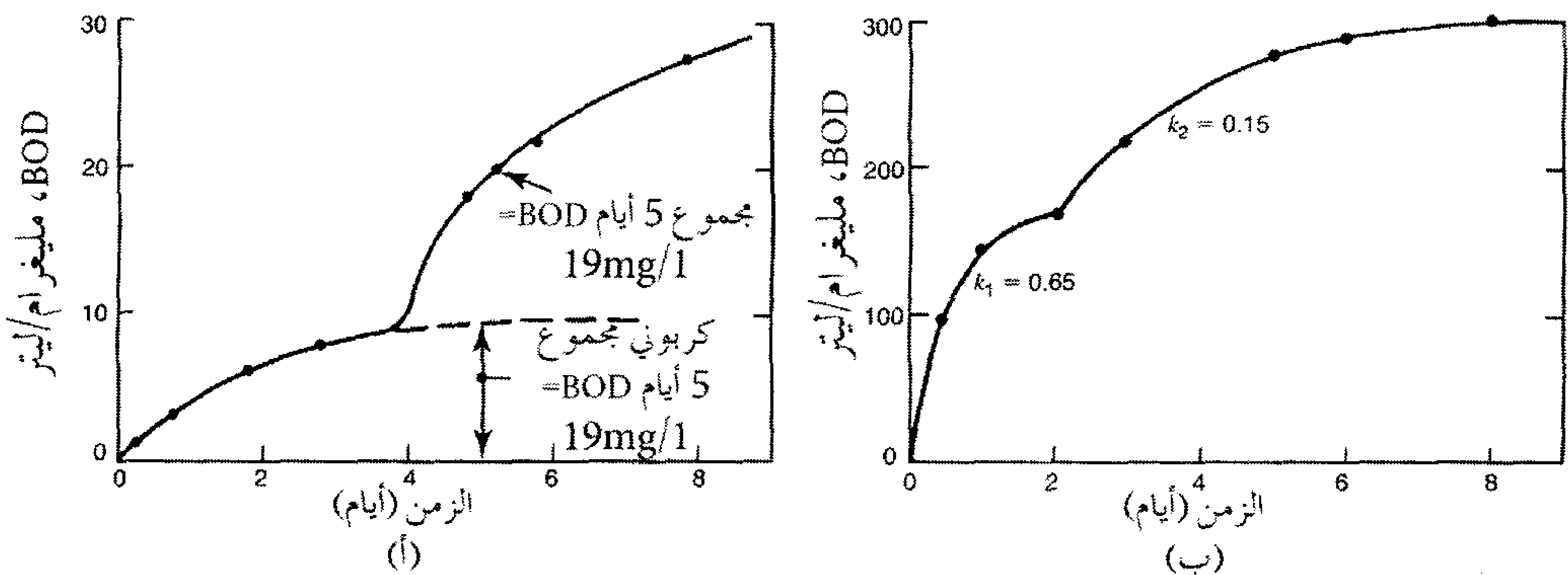
للأكسجين خلال اليومين الأوليين نتيجة ورود كميّة كبيرة من الصرف إلى مجاري المدينة متأتية من مصنع للسجق. ونظراً إلى كون نفايات السجق تتحلل بسهولة أكثر، فإنها تتأيض بمعدلات عالية بادئ الأمر ($K_1 = 0.65$)، في حين تستمر باقي المواد العضويّة باحتياجها للأكسجين بمعدلات أبطأ عبر فترة الاختبار.

تكون مياه الصرف الصناعيّ ذات قوى كبيرة بشكلٍ متكرّر، ما يجعل من الصعب، بل من المستحيل سحب كمياتٍ ضئيلة منها بدقّة إلى قارورة اختبار مستقلة. وفي هذه الحالة يمكن تخفيف مياه الصرف بتخفيف متسلسل إلى حجوم يمكن قياسها بدقة. فمثلاً يكفي 0.5 ml من مياه صرف ذات 3000 mg/l BOD لكل قارورة BOD. ولكن إذا خففت 100 ml من مياه صرف ذات 3000 BOD mg/l إلى ml 1000 من الماء المقطر، فإنّ مقدار 5.0 ml من المزيج يمكن سحبه بدقة إلى كل قارورة. وقد تكون مياه الصرف الغنية بالمعلقات الصلبة صعبة المزج بالماء، لذا يكون البديل مجانسة العينة في خلاّط للمساعدة في تشتيت المعلقات المذكورة في الماء.



شكل 3-15: منحني معدّل التفاعل لاختبار BOD على مياه صرف تصنيع كيميائي يبدي في التفاعل البيولوجي زمن تخلف (Time Lag)

إن الهدف من هذه المناقشة هو عرض بعض هذه المشاكل والمعوقات التي تواجه اختبارات BOD لمياه الصرف الصناعيّ. وبالرغم من صعوبة إنجازها فإن هذه الاختبارات شائعة في تقييم مياه الصرف الناتج من التصنيع وذلك لتقدير أجور استخدام المجاري العامة أو تقدير حمولات محطات المعالجة. إن الزرع غير الصحيح والتأثير غير الملحوظ للمواد المعيقة يمكن أن يفضي إلى نتائج خاطئة قد تقود إلى حالة من الفوضى والإرباك. وبالرغم من أن مياه الصرف الصناعيّ عصيّة أحياناً على الاختبارات الحيويّة، غير أنه يمكن غالباً اختبارها بدقة معقولة باتباع الإجراءات التحليلية بحذر شديد.



شكل 3-16: تحليل BOD يظهر نترتة مبكرة ومرحلة كربونية ثنائية الطور.(أ) منحني BOD لمياه صرف معالجة، قادمة من محطة تهوية موسعة تظهر نترتة تبدأ تقريباً من اليوم الرابع للحضانة. (ب) منحني BOD لمياه الصرف المدنيّة مرحلة كربونية ثنائية الطور ناتجة عن الكمية الكبيرة لمياه الصرف الناتجة من تصنيع السجق بالترافق مع مياه الصرف المحلية

مثال 3-3

كانت البيانات المتأتية من اختبار BOD لمياه صرف لم يضف إليها بذور كالآتي: 5.0 ml من مياه الصرف في قارورة 300 ml، DO الأولي 7.8 mg/l، وكانت DO لخمسة أيام تساوي 4.3 mg/l. احسب (أ) BOD وBOD النهائي بافتراض أن معدّل (k) يبلغ 0.10 باليوم.

الحل

(أ) من المعادلة 3-13،

$$BOD = \frac{7.8-4.3}{5/300} = 210 \text{ mg/l}$$

(ب) باستخدام المعادلة 3-14،

$$BOD_{\text{النهائي}} = \frac{BOD}{1-10^{-kt}} = \frac{210}{1-10^{-0.1\times5.0}} = \frac{210}{1-0.32} = 310 \text{ mg/l}$$

مثال 3-4

يتم إجراء اختبار BOD مستزرع على مياه صرف ذات قوة قدِّرت بـــ mg/l 800ناتجة عن معالجة اللحوم. البذور المضافة هي معلقات طافية على مياه الصرف المدنيّة القديمة والمستقرة وذات BOD يقدر بـــ 150 mg/l. (أ) كم يبلغ مقادير الأجزاء التي ينبغي استخدامها لتجهيز تخفيفات متوسطة من مياه الصرف ومن اختبارات الزرع؟ (ب) احسب قيمة BOD لمياه الصرف الصناعيّ إذا كان DO الأولي في كل من قارورات الزرع والعينة يبلغ 8.5 mg/l، وكانت قيم DO لخمسة أيام تساوي 4.5 mg/l لقارورة اختبار الزرع، و3.5 mg/l لعينة مياه الصرف المستزرعة.

الحل

(أ) اعتماداً على بيانات الجدول 3-4،

الحجم المطلوب لاختبار BOD على مستزرع 150 ml = 10.0 يسحب مباشرة إلى قارورة 300 ml.

الحجم المطلوب من مياه الصرف الناتجة من معالجة اللحوم قوتها 800 mg/l = ml 2.0، يتمّ سحبها في قارورة BOD.

كمية مياه الصرف القديمة اللازمة لزرع عينة مياه الصرف = 0.10 x 10.0 = ml 1.0 يتمّ سحبها في قارورة BOD، أو إضافة 3.33 mg/l من مياه التخفيف لمزيج قدره 0.33%.

(ب) إحلال في المعادلة 3-16،

$$BOD = \frac{(8.5-3.5)-(8.5-4.5)1.0/10.0}{2.0/300} = 690 \text{ mg/l}$$

3-11 أنظمة المعالجة الحيوية

المعالجة الحيويّة هي أكثر الطرق كفاءة لنزع المادة العضويّة من مياه الصرف المنزلية. وتعتمد هذه الأنظمة الحيّة على مستنبتات مكروبية مختلطة، تُحلّل وتنزع المواد العضويّة الغروية والمذابة من المحلول. توفر حجرة المعالجة التي تحوي العضويات المجهرية بيئةً متحكماً بها. فمثلاً تُزود الحمأة المنشطة بأكسجين كاف للمحافظة على ظروف هوائية. تحتوي مياه الصرف على الغذاء الحيوي، والمواد المغذية للنمو، وطعوم من العضويات المجهرية. وغالباً ما يَستفسر الأشخاص الذين ليسوا على إطلاع بعمليات مياه الصرف عن مصدر الحصول على المستنبتات الحيوية. والجواب هو إن المجموعة الواسعة للبكتيريا والابتدائيات الموجودة في مياه الصرف المنزلية هي من تقوم بزرع وحدات المعالجة. بعد ذلك يتمّ توليد المستنبتات الحيويّة المرغوبة والإبقاء عليها لمعالجة الملوّثات وذلك عبر تحكّمٍ حذرٍ بانسياب مياه الصرف، وإعادة دوران العضويات الدقيقة المستقرة، وإمداد الأكسجين وعوامل أخرى. يتمّ تطوير طبقة الوحل على سطح الوسط في

مرشح تنقيط وذلك عبر فرش مياه الصرف على الحوض. وفي غضون بضع أسابيع يدخل المرشح فترة التشغيل ليقوم بنزع المادة العضويّة من السائل الراشح عبر الحوض. تبدأ الحمأة المنشطة في نظام ميكانيكي أو نظام هواء موزّع بتشغيل مراوح التهوية وتغذية مياه الصرف. ومن حيث المبدأ فإنّ معدّلاً عالي الدوران من قاعدة المروّق النهائي ضروريٌّ للحفاظ على مستنبتٍ حيوي كافٍ. غير أنه وخلال برهةٍ قصيرة سرعان ما تنمو خثرة حيوية قابلة للترسب تقوم بترسيب النفايات العضويّة بكفاءة. إن الهاضمات الهوائية هي أصعب مجموعات المعالجة إقلاعاً، وذلك لعدم توفر البكتيريا المشكلة للميثان والتي هي أساسيّة للهضم، بشكلٍ كافٍ في مياه الصرف. فضلاً عن ذلك فإنّ هذه العضويات الهوائية تنمو ببطءٍ شديد وتحتاج إلى ظروفٍ بيئيةٍ مثالية. إن البدء بهاضماتٍ لاهوائية يمكن أن يُسرّع على نحوٍ ملحوظ ملء الخزّان بمياه صرف وبذور مع كميّة وافرة من حمأة هاضمة من محطة معالجة قريبة. يتم من ثم الإمداد بالحمأة الخام بمعدلات أولية منخفضة، ويتم إضافة الجير كمادة ضرورية لتثبيت pH، بل إنه حتى تحت مثل هذه الشروط، قد يتطلب الأمر بضعة شهور كي تغدو المعالجة جاهزة للتشغيل.

الأنزيمات عبارة عن حفازات عضوية تنجز تفاعلات كيميائية تحت درجات حرارة وشروطٍ كيميائية تتفق مع الحياة الحيويّة. يتطلب التحلل الكيميائي للبطاطا واللحم غليهما في محلول حمضي قوي، كما هو الحال في اختبار COD. ولكن يمكن أن يتمّ هضم هذين النوعين نفسهما من الغذاء تماماً بواسطة العضويات المجهرية، أو في معدة حيوانٍ ما تحت درجات حرارة أقلّ بكثير ودون أحماض معدنية قوية وذلك بتأثير الأنزيمات. ولا يمكن عزل معظم الأنزيمات من العضويات الحية إلا بإعاقة قدراتها الوظيفية. وبالرغم من أن نقاش موضوع الأنزيمات خارج إطار هدف هذا الكتاب، إلا أنّه يجب على الفنيين العاملين في مجال العلوم الصحية أن يكونوا منتبهين إلى أن الإضافات الأنزيمية المتداولة

تجارياً لتحسين عمليات المعالجة البيولوجية غير فعّالة. وتستخدم عموماً في لصاقات العلب مصطلحات علمية ذات مستوى عالٍ لإقناع الشاري بقيمة المنتج من قبيل: "أنزيمات لمياه الصرف" أو ("للهضم اللاهوائي، ولبرك الاستقرار، ولخزانات الصرف"... الخ)، "10 بلايين مستعمرة في الغرام"، محلل سكريات (Diastic)، محلل بروتينات (Proteolytic)، محلل نشاء (Amylolytic)، محلل دهون (Lipolytic) ممتاز"، "تركيبة خاصة من الأنزيمات والبكتيريا الهوائية واللاهوائية" وما شابهها. وفي الواقع تحوي مياه الصرف المنزلي إمداداً وفيراً بكل هذه الأنزيمات، وإضافة المزيد منها ذي كلفة زائدة، ويمكن أن يوصف مجازاً بأنه "رمي للنقود في البالوعة".

العوامل المؤثرة في النمو

إن أهم العوامل المؤثرة في النمو الحيوي هي الحرارة، وتوفر المغذيات، وإمداد الأكسجين، pH، ووجود السموم، إضافة إلى ضوء الشمس إن كانت النباتات هي من يقوم بالتركيب الضوئي. تصنف البكتيريا وفقاً للمجال الحراري المثالي لنموها، فبكتيريا النسيج المتوسط، تنمو في مجال درجات حرارة يتراوح بين $10^{\circ}C$ و$40^{\circ}C$ بدرجة حرارة نمو نموذجيّة قدرها $37^{\circ}C$. تعمل خزّانات التهوية ومرشحات التقطير عادةً تحت درجات حرارة تقع في النصف السفلي للمجال المذكور بحيث تكون درجات حرارة مياه الصرف بين $20^{\circ}C$ و$25^{\circ}C$ في مناخ حار و$8^{\circ}C$ إلى $10^{\circ}C$ خلال الشتاء في الأقاليم الشمالية. وإذا استخدمت مياه آبار باردة، يمكن لدرجات حرارة مياه الصرف أن تكون أقل من $20^{\circ}C$ خلال الصيف، وقد يؤدي التشغيل في طقس بارد للغاية إلى تشكّل الجليد على سطح المنقيات النهائية وإلى تجمد برك الاستقرار. وعادة تُسخّن خزّانات الهضم اللاهوائي إلى درجة حرارة نموذجية قدرها $35^{\circ}C$ ($98^{\circ}F$) .

يتضاعف معدّل النشاط البيولوجي أو ينخفض إلى النصف لكل $10^{\circ}C$ إلى $15^{\circ}C$ زيادة أو نقصاناً وذلك ضمن المجال الحراري بين $5^{\circ}C$ و$35^{\circ}C$. ويعبر عن العلاقة الرياضية للتغيرات في ثابت معدّل التفاعل مع الحرارة (مأخوذة من الحركية الحرارية، الفقرة 2-5، معادلة 2-26) كالآتي:

$$k = k_{20}\, \Theta^{T-20} \qquad \textbf{(17-3)}$$

حيث k = ثابت معدّل التفاعل تحت درجة حرارة T باليوم.

k_{20} = ثابت معدّل التفاعل تحت درجة حرارة $20^{\circ}C$ باليوم.

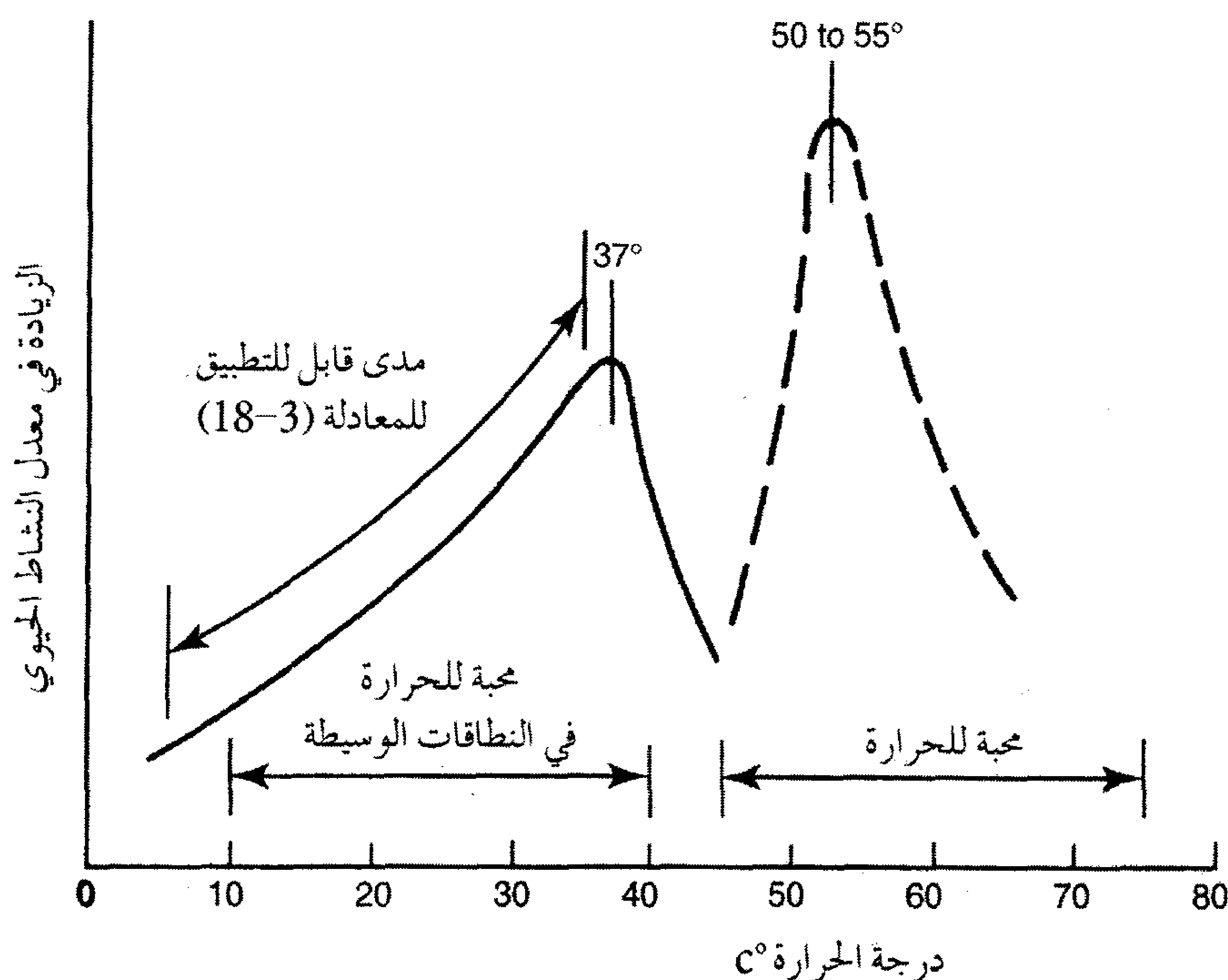
Θ = معامل درجة الحرارة، بلا وحدة.

T = درجة حرارة التفاعل الحيوي، درجة مئوية.

يغير مناخ حار وجاف الحركيات البيولوجية والكيميائيّة في عمليات معالجة مياه الصرف عن تلك في المناخات القارية المعتدلة، ففي إقليمٍ صحراويٍّ تكون درجات حرارة مياه الصرف أعلى على نحوٍ ملحوظ بسبب درجة حرارة الهواء الساخن ومياه الشرب الساخنة[3]. إذا كان مصدر مياه الشرب مياه آبار أو مياه بحر محلاة، فإنّ درجة حرارة مياه الصرف على مدار العام يمكن أن تكون $25^{\circ}C$– $30^{\circ}C$ وتتجاوز ذلك خلال الصيف. إن لمياه الصرف الساخنة تأثيراً جوهرياً في عمليات المعالجة عبر زيادة معدّل النشاط البكتيري ومعدل التفاعل الكيميائي مقارنة بالمعدلات المطبقة في تصميم العمليات في أمريكا الشمالية وأوروبا. إن التأثيرات غير الملائمة لمياه الصرف الدافئة هي: انطلاق أكبر لكبريتيد الهيدروجين من مياه صرف لاهوائية، زيادة التآكل وانطلاق روائح كريهة، وترسيب من مياه صرف خام والحمأة المنشطة، وتراجع كثافة الحمأة المستقرة نتيجة تخمر المادة العضويّة في طبقة الحمأة، وعمليات تهوية حيويّة، وزيادة معدّل نترتة الأمونيا، ما يتسبب في احتياج أكبر للأكسجين، وصعوبة في نزع الماء من حمأة نفايات غير مستقرة. إن فوائد مياه الصرف الدافئة هي: حمولات تصميم أعلى مسموحة لعمليات تهوية مياه الصرف بسبب المعدل المتزايد للنشاط الحيوي، وتراجع زمن الاحتفاظ لتعقيم تدفّق

مياه الصرف بسبب المعدل المتزايد للتفاعل المؤكسد للكلور، واستقرار البرك، ومعالجة حيوية محسنة، وفناء أسرع للعضويات المجهرية المُمرضة.

قيمة Θ تبلغ 1.072 وذلك في ما لو تضاعف أو انخفض للنصف معدّل النشاط الحيوي بتغير درجة الحرارة بمقدار $10^{\circ}C$، وتبلغ 1.047 إن تضاعَف أو انخفض إلى النصف معدّل النشاط الحيوي بتغير درجة الحرارة بمقدار $15^{\circ}C$. لا يبقى معدّل النشاط الحيوي ثابتاً عبر المجال الممتد من $5^{\circ}C$ إلى $35^{\circ}C$، إنما قد يحدث تغير معتبر. يظهر منحني التفاعل-المعدل- درجة الحرارة الموضّح في الشكل 3-17 أن معدّل التفاعل يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة، ويصبح المنحني أشد ميلاً. لذلك فإنّه في منحني التفاعل-المعدل- درجة الحرارة، تزداد قيمة Θ بازدياد درجات حرارة التفاعل.



شكل 3-17: تأثير درجة الحرارة في معدّل النشاط الحيوي وفي التموضع النسبي للنطاقات المحبة للحرارة والنطاقات الوسيطة

ينخفض نشاط الأيض بحدة لدى درجات حرارة أعلى من $40^{\circ}C$، ليبدأ نمو محب للحرارة. ويتراوح نطاق البكتيريا المحبة للحرارة بين $45^{\circ}C$ و$75^{\circ}C$ مع قيمة مثلى تبلغ $55^{\circ}C$. ونادراً ما يستخدم هذا النطاق من درجات الحرارة في معالجة النفايات لأنه من الصعب الإبقاء على درجة حرارة تشغيل بمثل هذا الارتفاع، إضافة إلى كون البكتيريا المحبة للحرارة أكثر حساسية تجاه أيّ تغيرات ولو طفيفة في درجات الحرارة. إن الميل بين النطاقين المحب للحرارة ومتوسط المحبة لها، ذو أهميّة خاصة وينبغي تجنب هذه المنطقة. وقد يقوم الفنّي الذي يرغب بالتوصل إلى نشاطٍ متزايد في هاضم لاهوائي، بزيادة درجة حرارة الحمأة الخاضعة للهضم تدريجياً ويحقق بالتالي إنتاجاً وكفاءةً أفضل للغاز. ولكن إذا سخنت الحمأة إلى ما فوق درجة الحرارة الوسطى المثلى، فسوف يتناقص معدّل النشاط الحيوي بشكل حاد، وسيؤثر على التشغيل بشكل عكسي.

تحتوي مياه الصرف المنزلية عادةً تراكيز كافية من الكربون، النتروجين، الفوسفور ومغذيات أثر لتدعم نمو المستنبت الميكروبي. ونظرياً فإن نسبة BOD/N/P البالغة 1/5/100 مناسبة جداً للمعالجة الهوائية مع بعض التغيّرات الطفيفة وذلك تبعاً على نمط النظام وأسلوب التشغيل. يبدي متوسط مياه صرف فائضاً من النتروجين والفوسفور مع نسبة BOD/N/P تعادل 3/17/100. وإذا احتوت مياه الصرف المنزلية على حجم كبير من مياه الصرف صناعي فقيرة بالمغذيات، يتمّ عادةً تزويدها بالأمونيا اللامائية (NH_3) أو بنترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، وبالفوسفور كحمض فوسفوريك (H_3PO_4).

يجب تزويد أحواض التهوية المنتشرة الميكانيكية بهواء كاف للمحافظة على DO تتمكن البيوتا (Biota) من استخدامه في أيض عضويات مياه الصرف. ويعتمد معدّل النشاط الميكروبي على تركيز الأكسجين المُذاب فوق قيمة حدية دنيا، وبدون هذه القيمة ينخفض المعدل نتيجة محدودية الأكسجين الذي يحتاجه للتنفس. وتعتمد

القيمة الدنيا الدقيقة على نمط معالجة الحمأة المنشطة وعلى خصائص مياه الصرف قيد المعالجة. إن قرينة التصميم الأكثر انتشاراً للقيمة الحديّة للأكسجين المُذاب 2.0 mg/l، ولكن التشغيل الفعلي أثبت أن قيمة منخفضة تصل إلى 0.5 mg/l كافية. وبالطبع فإنّه يجب على الأنظمة اللاهوائية أن تعمل في ظل غيابٍ كليٍّ للأكسجين المُذاب، الأمر الذي يترتب عليه منع الهواء عن الهاضمات وعزلها بالتعويم أو بواسطة أغطية ثابتة لتمنع الهواء.

ولتركيز أيون الهيدروجين تأثير مباشر في أنظمة المعالجة الحيويّة، والتي تعمل بأفضل أداءٍ في بيئة حيادية. يتراوح المجال العام لـ pH لتشغيل أنظمة التهوية بين 6.5 و8.5. وفوق المجال المذكور يعاق النشاط الميكروبي، وتحت قيم 6.5 تكون الأرجحية لصالح الطحالب على البكتيريا في التنافس على أيض عضويات مياه الصرف. وتكون عادةً قدرة منظم البيكربونات في مياه الصرف كافيةً لمنع ارتفاع الحمضية وانخفاض قيم pH، كما يميل إنتاج ثاني أكسيد الكربون من قبل العضويات المجهرية للتحكّم بقلوية مياه صرف ذات قيم pH مرتفعة. فإذا أجبر طرح مياه صرف صناعية قيمة الـ pH على الابتعاد عن المجال المثالي، فقد يتطلب الأمر إضافة مادة كيميائية لتحييد قيمة الـ pH. في هذه الحالة يكون من المفضل والمرغوب فيه قيام الجهات المصنعة بمعالجة مسبقة لمياه صرفها لتعديلها وتحييدها قبل طرحها في المجاري العامة، مقارنةً بمكافحة مشكلة ضبط الـ pH في محطة معالجة المدينة.

إن للهضم اللاهوائي مجال تفاوت ضيق لقيم الـ pH يتراوح بين 6.7 و7.4 بتشغيل مثاليٍّ عند قيمة pH تبلغ 7.0 إلى 7.1. تسمح حمأة مياه الصرف المنزلية بتشغيل في هذا المجال الضيق باستثناء فترة الإقلاع أو فترات ورود حمولات عضوية زائدة. لقد تم تحقيق نجاحات محدودة في ضبط pH الهاضمات، وذلك عبر إضافات حذرة ومحدودة من الجير مع امدادات الحمأة الخام. ولسوء الحظ فإنّ

ازدياد الحمضية وانخفاض قيم الـــ pH قد تكون أحد أعراض مشاكل هضم أخرى، مثل تراكم المعادن الثقيلة السامّة والتي لا يمكن لإضافة الجير أن تعالجها.

تعيق المواد السامّة أنظمة المعالجة الحيوية. وتحوي مياه الصرف الصناعيّة المتأتية من صناعات استخلاص المعادن عادةً على أيونات سامّة كالنيكل والكروم. وتنتج الصناعات الكيميائية مجموعةً متنوعة وواسعة من المركبّات العضويّة التي يمكنها أن تعكس تأثير العضويات المجهرية. ونظراً إلى قلة ما يمكن فعله لنزع أو تحييد المركبّات السُميّة في مياه الصرف المنزلية، فإن الأمر يتطلب قيام الصناعات المختلفة بمعالجات مسبقة لمياه الصرف الناتج منها قبل طرحها في مجارير المدينة.

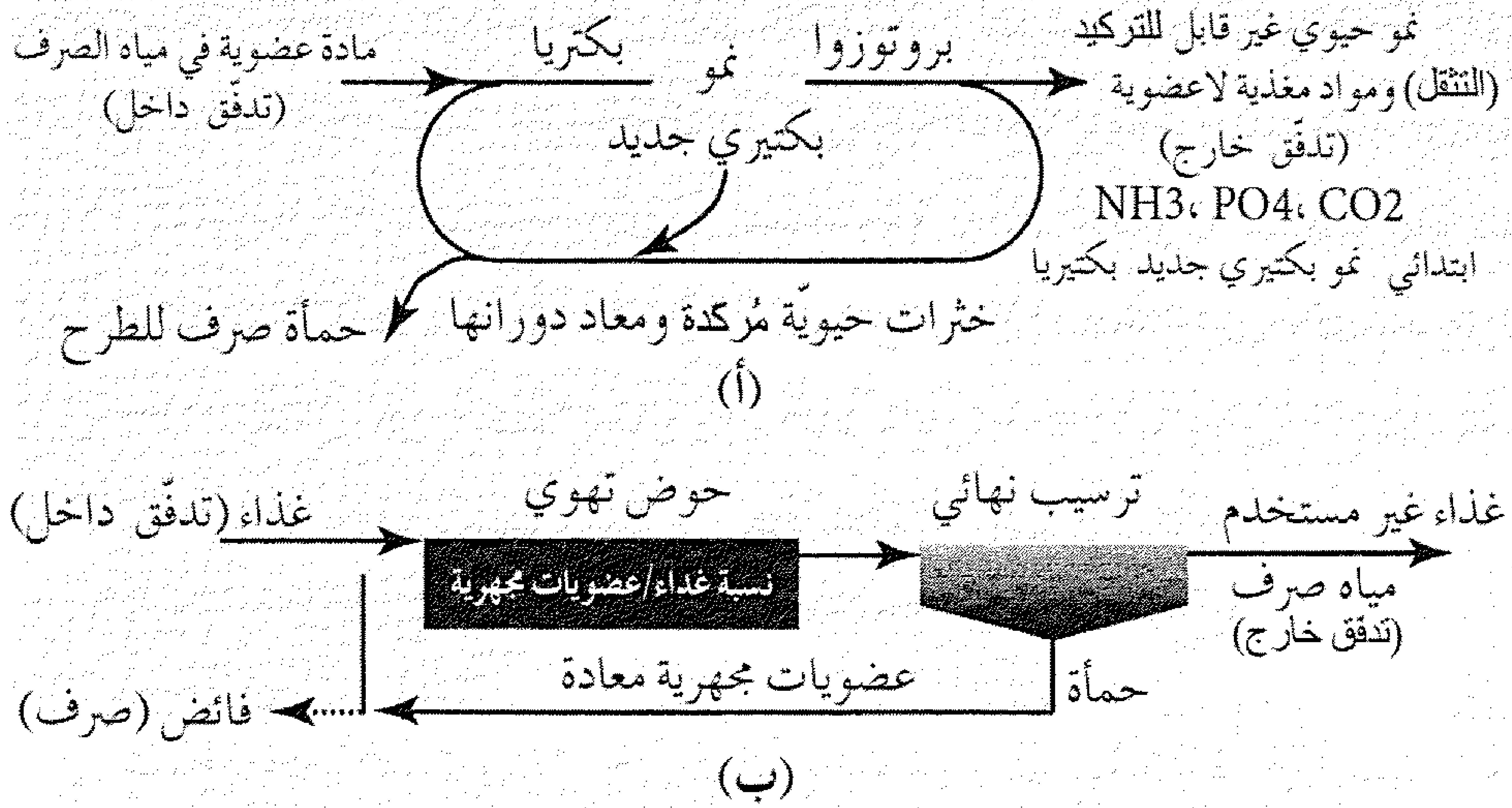
ديناميكية الكائنات

في عمليات معالجة الماء، فإنّ البيوتا (Biota) التي تتشكّل وتتواجد طبيعياً هي طيف واسع من البكتيريا التي تنمو بالارتباط المتبادل مع النباتات والحيوانات المجهرية الأخرى. والعوامل الرئيسة في حركية الكائنات ثلاثة هي: التنافس على الغذاء نفسه، والعلاقة بين المفترس – الضحية، والارتباطات التكافلية. وعند إمداد مجموعة سكانية مختلطة من الكائنات المجهرية بمادة عضوية، يبرز التنافس على هذا الغذاء، وسيشتد التنافس على مصادر الإمداد الرئيسة وسيغدو مسيطراً. وتحت شروط تشغيل عادي، تكون البكتيريا المغذي الرئيس في كل من العمليات الهوائية واللاهوائية. كما سيكون استهلاك البكتيريا للابتدائيات هي علاقة المفترس – الضحية الشائعة في الحمأة المنشطة وفي مرشحات التقطير. وفي برك الاستقرار تتغذى الابتدائيات والدولابيات بالطحالب والبكتيريا. أما التكافل فهو العيش المشترك لعضويات بما يكفل فائدةً متبادلة، بحيث ينتج هذا الارتباط نمواً أقوى لكلا النوعين. وتعتبر العلاقة بين البكتيريا والطحالب في برك الاستقرار مثالاً ممتازاً على التكافل.

وفي حمأة منشطة، تكون عضويات مياه الصرف غذاءً للبكتيريا وللأعداد القليلة من الفطريات التي قد تكون موجودة. تموت بعض البكتيريات وتنحل محررة

مكوّناتها والتي سيعاد تركيبها من قبل بكتيريات أخرى. يستهلك مغذي ثانوي (الابتدائيات) بضعة آلاف من البكتيريا في إعادة إنتاج ابتدائي جديدة واحدة. ولمعركة المفترس – الضحية، فائدتان هما: (1) إزالة البكتيريا ما يحرّض نمواً باكتيرياً وتسريعاً لأيض المادة العضويّة، و(2) تحسّن خصائص تثقل الخثرات الحيوي عبر الإقلال من أعداد البكتيريات الحرة في المحلول. يتكون التدفّق القادم من عمليات المعالجة، من مادة عضوية غير قابلة للترسب وأملاح لاعضوية ذوّابة. (شكل 3-18).

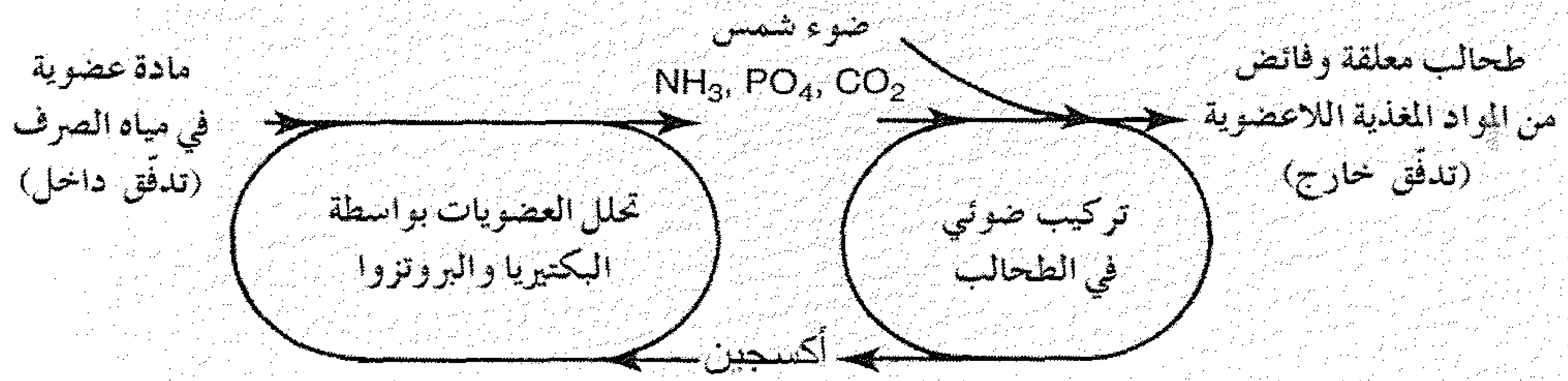
إن ضبط أعداد الميكروبات أمرٌ أساسيّ لمعالجة هوائية كفؤة. فإذا تمّت تهوية مياه الصرف ببساطة، فإنّ زمن إعاقة المحلول ستكون طويلةً إلى حد غير مقبول، ما يتطلب فترة زمنية تقدّر بنحو 5 أيام تحت درجة حرارة °C20 من أجل خفض محتوى المادة العضويّة بنسبة 70%. غير أنه يمكن استخلاص المادة العضويّة خلال بضع ساعات من التهوية، شريطة مزج عدد كبير من العضويات المجهرية مع مياه الصرف. ويمكن التوصل لذلك عملياً بترسيب العضويات المجهرية من المحلول في المنقي النهائي وإعادتها إلى خزان التهوية من أجل أيض مزيدٍ من عضويات مياه الصرف (شكل 3-18). تتتوفر خصائص ترسّب جيدة عندما يتم الاحتفاظ بالحمأة المنشطة في الطور داخلي النمو (طور الموت جوعاً Starvation)، فضلاً عن ذلك فإن عدداً كبيراً من البيوتا التي تعاني نقص تغذية تنزع الـــ BOD بسرعة من المحلول. يتمّ إقصاء وتبديد فائض العضويات المجهرية من المعالجة للمحافظة على توازن مناسبٍ بين إمداد الغذاء والتجمّع الحيوي في خزان التهوية. يُشار إلى هذا التوازن بمصطلح نسبة الغذاء إلى العضويات المجهرية (Food-to-Microorganism Ratio, F/M) والتي يُعبَّر عنها عادةً بعدد باوندات BOD المُستخدمة باليوم لكل lb من المواد الصلبة المعلقة في المحلول المائي الممزوج (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) في حوض التهوية.



شكل 3-18: حركية الكائنات الحيوية العامة في عمليات حمأة مياه الصرف المنشطة. (أ) العلاقة المفترس – الضحية بين الابتدائيات والبكتيريا في معالجة الحمأة المنشطة. (ب) يحافظ التركيد وإعادة الدوران على نسبة الغذاء / العضويات المجهرية المرغوبة (F/M) في حوض التهوية

يتسبب التشغيل، تحت نسبة "غذاء/عضويات مجهرية" (*F/M*) عالية جداً، بتأيّضٍ غير مكتمل للمادة العضويّة وبخصائص ترسبٍ سيئة للخثرة الكيميائيّة وبالتالي كفاءة سيئة لإزالة الـــ BOD. أما إن كانت النسبة (*F/M*) منخفضةً فستكون كتلة العضويات المجهرية قريبةً من ظروف الموت جوعاً، ما يتسبب بدرجة عالية من إزالة المادة العضويّة، وقدرة جيدة لترسيب الحمأة المنشطة، وإزالة كفؤة للـــ BOD. يظهر الشكل 3-19 العلاقة بين البكتيريا والطحالب في بركة صغيرة. تحلّل البكتيريا المادة العضويّة منتجةً بالتالي نتروجين لاعضوي، وفوسفات وثاني أكسيد كربون. تُستخدم الطحالب هذه المركبّات إضافة إلى الطاقة القادمة من أشعة الشمس في إطار التركيب الضوئي محررةً الأكسجين ضمن المحلول، وهذا الأكسجين بدوره يُمتص من قبل البكتيريا وهكذا تُغلق الدائرة. يحتوي التدفّق القادم من بركة الاستقرار طحالباً معلّقةً وكميةً وفيرةً من النواتج النهائية للتحلّل البكتيري. وفي

الصيف يكون تناقص BOD في اللاغونات عال جداً حيث يكون عادةً أكثر من 95%. غير أنه في التشغيل تحت درجات حرارة باردة، ينخفض النشاط الميكروبي وتعتمد إزالة BOD إلى حد بعيد على تخفيف تدفّق مياه الصرف الخام الداخلة إلى الحجم الكبير للمياه المحتجزة. نادراً ما ينخفض احتجاز السوائل في برك الاستقرار عن 90 يوماً، وتكون عموماً أكثر من ذلك بنحو معتبر.



شكل 3-19: مخطط توضيحي لارتباط متبادل النفع (علاقة تكافل) بين البكتيريا والطحالب في بركة استقرار

وبعد شتاء بارد خاصة إذا غطى البركة الجليد والثلج، يمكن توقع الظروف المسببة للرائحة خلال ذوبان الثلج خلال الربيع. فمع ازدياد الحرارة سرعان ما تتحلل المادة العضويّة التي تكدست في أثناء الشتاء، بواسطة البكتيريا مستخدمةً الأكسجين المنحل بمعدلٍ أسرع من معدّل امتصاصه من الغلاف الجوي أو من معدّل إمداده من قبل الطحالب. وبعد مرور بضعة أيام إلى بضعة أسابيع، وتبعاً للظروف المناخية وحمولة الصرف الواردة إلى اللاغون، تعود الطحالب إلى الاستقرار من جديد وإلى تزويد الدورة البكتيرية بالأكسجين. وحالما تعود هذه العلاقة التكافلية للعمل مرة أخرى، تترسخ الشروط الهوائية بثبات وتتوقف انبثاقات الروائح.

3-12 الحركية الحيويّة

يوضح الشكل 3-20 نمط النمو المميّز لنوع بكتيري وحيد في مجموعة مستنبتات. يحدث هذا النمو مع الزمن عندما يتمّ تطعيم سائل معقم خاضع للتخمير بمقدار صغير من البكتيريا. وبعد فترة تأخر صغيرة، يُعاد إنتاج البكتيريا بشكل

أسّيٍّ عبر الانقسام المزدوج، لتزداد بشكلٍ سريع أعداد الخلايا الحية والكتلة الحيويّة في الوسط. إن وجود فائض من المادة الخاضعة للتطعيم يشجّع على بلوغ أقصى معدّل نمو ممكن، وما يحدّه فقط هو قدرة البكتيريا على التكاثر. وفي طور النمو الأسّي هذا فإن زيادة كل من عدد الخلايا الحية وتراكم الكتلة الحيويّة يُعبَّر عنها بالعلاقة 3-18 حيث μ ثابت التناسب:

$$r_g = \mu X \qquad \textbf{(18-3)}$$

وحيث: r_g = معدّل نمو الكتلة، ميلليغرامات باللتر باليوم

μ = معدّل النمو النوعي (معدل النمو لوحدة الكتلة الحيويّة) باليوم

X = تركيز الكتلة الحيويّة، ميلليغرامات باللتر

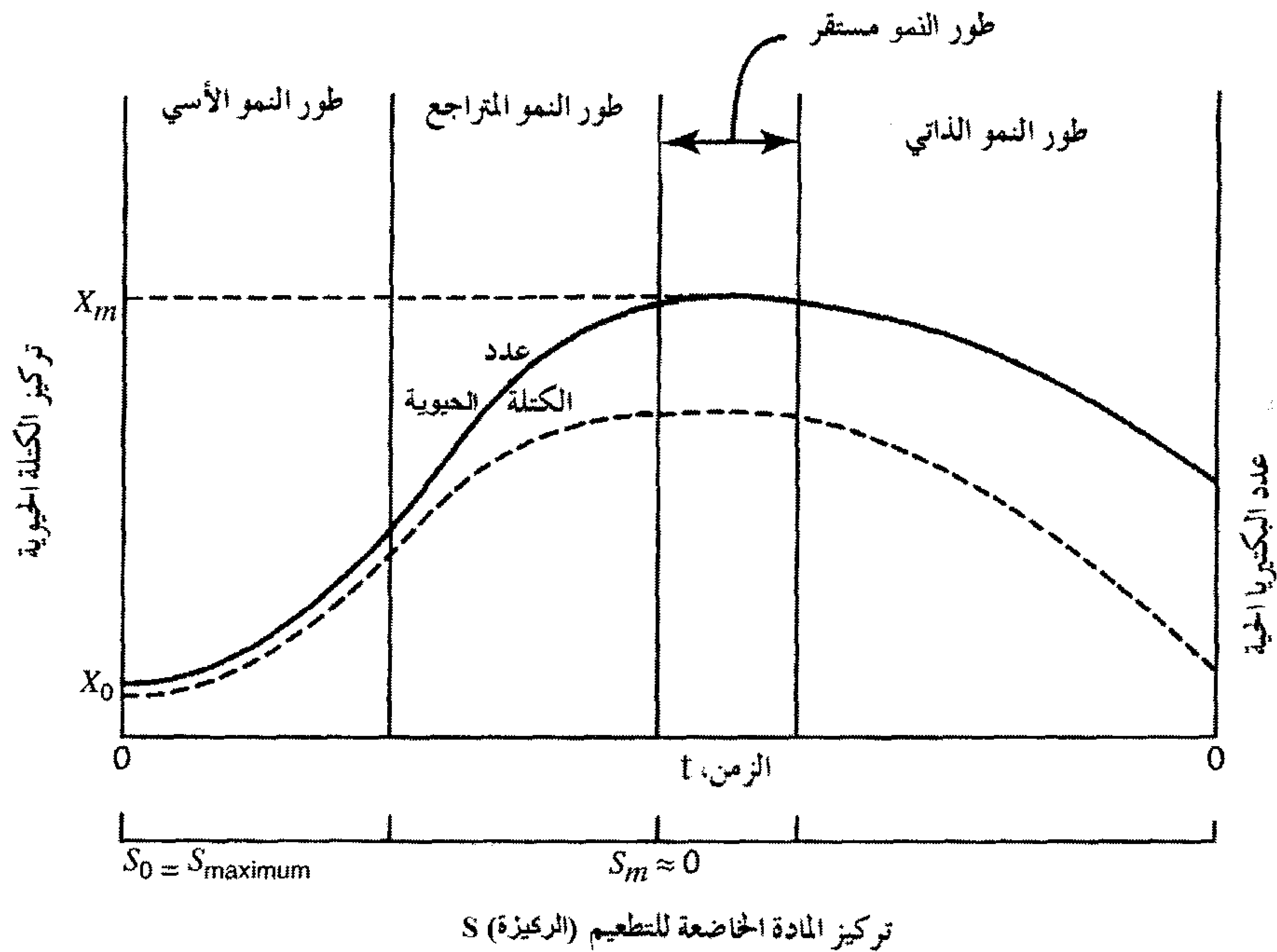
إن طور النمو المتراجع (Declining Growth Phase) هو طور ناتج من تناقص كمية المادة الخاضعة للتطعيم الأمر الذي يعيق النمو البكتيري. يتراجع معدّل التكاثر وتموت بعض الخلايا لتتجاوز الكتلة الحيوية الكليّة كتلة الخلايا الحية. وعندما تُستنزَف المادة الخاضعة للتطعيم عند نهاية طور النمو المتراجع، يكون عدد كلّ من البكتيريا الحية والكتلة الحيويّة ثابتاً نسبياً، ما يتسبب بوجود طور مستقر. تصف معادلة مونود (Monod equation) معدّل النمو لطور النمو المتراجع:

$$\mu = \mu_m \left(\frac{S}{K_S + S} \right) \qquad \textbf{(19-3)}$$

حيث μ_m = أقصى معدّل نمو نوعي باليوم

S = تركيز السائل المقيّد النمو، ميلليغرامات باللتر

K_s = ثابت الإشباع (يساوي تركيز السائل المقّيد النموعند نصف قيمة أقصى معدّل للنمو)، mg/l.



شكل 3-20: منحنيات نمو مميزة للكتلة الحيوية وعدد البكتيريا الحية في دفعة مستنبتات نقية

إن هذه العلاقة الرياضية ين تركيز السائل المقّيد النمو ومعدّل النمو النوعي للكتلة الحيويّة هي تابع مقطع زائد كما هو موضّح بالشكل 3-21. والثابت يساوي تركيز المادة الخاضعة للتطعيم عندما يكون يساوي معدّل النمو النوعي μ نصف قيمة معدّل النمو μ_m. وبتعويض المعادلة 3-18 في المعادلة 3-19 فسيكون معدّل نمو الكتلة الحيوية في السائل المقّيد النمو كالآتي:

$$r_g = \left(\frac{\mu_m XS}{K_S + S}\right) \qquad \textbf{(20-3)}$$

طور النمو الذاتي (Endogenous Growth Phase) (شكل 3-20) هو فترة أيضٍ متناقص (Decreasing Metabolism) مع تناقصٍ ناتجٍ منه في كلّ من الكتلة

الحيويّة والبكتيريا الحية. وتتنافس البكتيريا المتبقية على الكمية القليلة من المادة الخاضعة للتطعيم التي مازالت موجودة في المحلول. تموت الخلايا الهرمة وتتحلل منتجةً مواداً مغذّية تعود إلى السائل. ينقص فعل التحلل كلاً من أعداد الخلايا والعدد الكلّي للكتلة الحيويّة. ومعدّل تناقص الكتلة الحيويّة متناسب مع الكتلة الحيوية الموجودة، بحيث يكون

$$r_d = -k_d X \qquad \textbf{(21-3)}$$

حيث:

r_d = معدل تحلل الكتلة الحيويّة، ميلليغرامات باللتر باليوم

k_d =معامل تحلل الكتلة الحيويّة باليوم

X = تركيز الكتلة الحيويّة ميلليغرامات باللتر

أما معدّل النمو الصافي للكتلة الحيويّة خلال طور النمو الذاتي فهو مجموع المعادلتين 3-20 و3-21

$$r'_g = \left(\frac{\mu_m X S}{K_S + S}\right) - k_d X \qquad \textbf{(22-3)}$$

حيث r'_g = معدّل النمو الكتلة الحيويّة الصافي، ميليغرامات باللتر باليوم

وتعدل معادلة مونود (3-19) لمعدّل النمو النوعي لتصبح:

$$\mu' = \mu_m \left(\frac{S}{K_S + S}\right) - k_d \qquad \textbf{(23-3)}$$

حيث μ' = أقصى معدّل للنمو النوعي الصافي باليوم

حصاد النمو (Growth Yield) هو الزيادة المتنامية للكتلة الحيوية الناتجة من أيض الكمية المتزايدة للمادة الخاضعة للتطعيم. وفي مجموعة مستنبتات (شكل 21-3) ، فإن أقصى حصادٍ هو زيادة الكتلة الحيوية في أثناء طور النمو الأسّي والمتراجع $(X_m - X_o)$ (Exponential and Declining Growth Phase) بالنسبة إلى المادة الخاضعة للتطعيم المُستخدمة خلال الفترة الزمنية نفسها $(S_o - S_m)$. ونظراً إلى تناهي تركيز المادة الخاضعة للتطعيم S_m إلى الصفر لذا يكون:

$$Y = \frac{X_m - X_o}{S_o} = \frac{r_g}{r_{su}} \quad (24\text{-}3)$$

حيث:

Y = حصاد النمو، mg/l لزيادة الكتلة الحيوية مقدرة بـــ mg/l من المادة الخاضعة للتطعيم المتأيضة

r_{su} = معدّل استخدام المادة الخاضعة للتطعيم، ميليغرامات باللتر باليوم

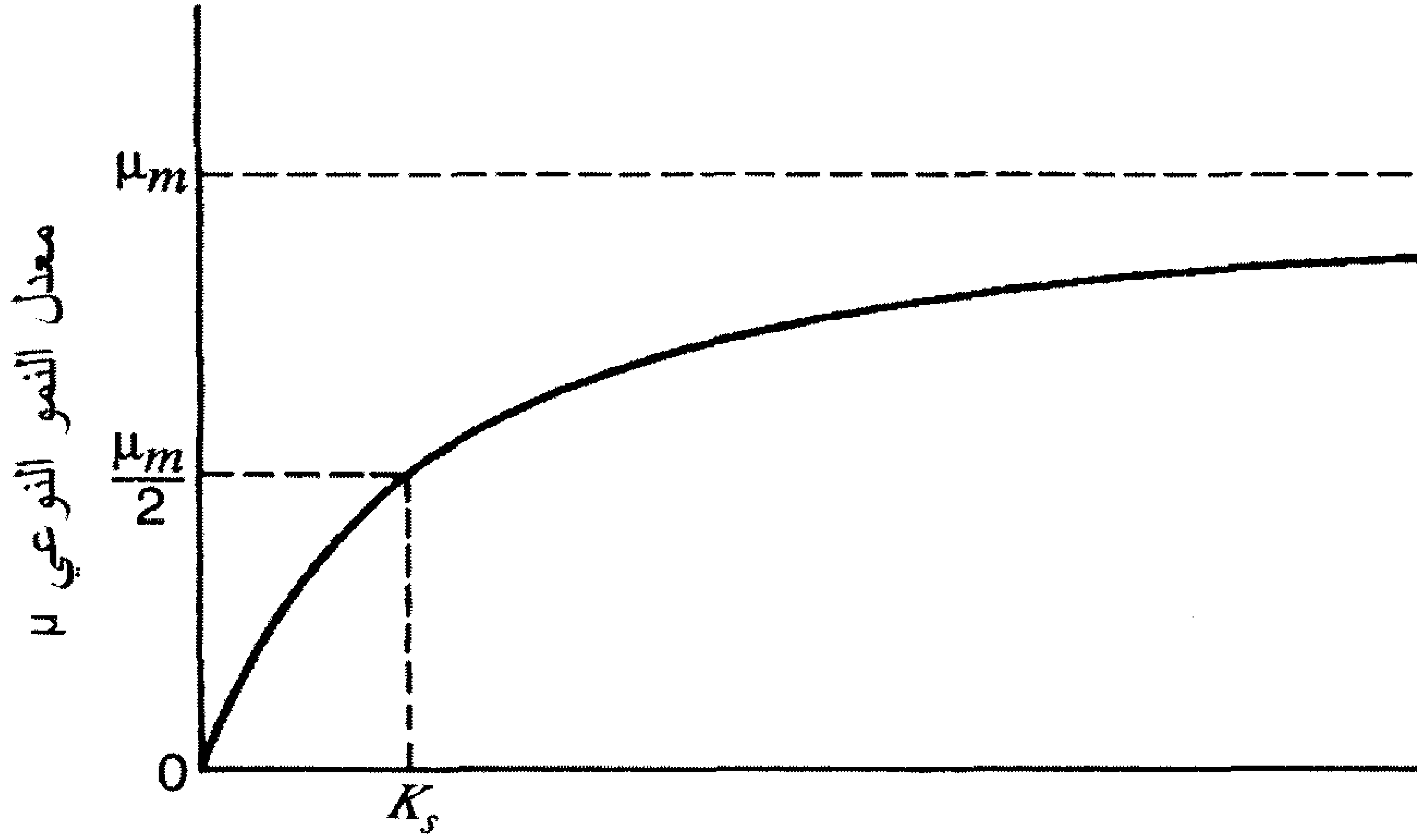
وإذا عُوّض حصاد النمو في المعادلة 3-22 فإن معدّل النمو الصافي في طور النمو الداخلي سيكون:

$$r'_g = Y\, r_{su} - k_d X \quad (25\text{-}3)$$

إن المعادلة الآتية هي لحصاد النمو الملاحظ والذي يرجع إلى تأثير التحلل الداخلي في الكتلة الحيوية.

$$Y_{obs} = \frac{r'_g}{r_{su}} \quad (26\text{-}3)$$

حيث Y_{obs} = حصاد النمو الملاحظ في تحليل مخبري.



شكل 3-21 : منحني معدّل النمو مقابل تركيز المادة الخاضعة للتطعيم (الركيزة) والمقيدة للنمو لمستنبت بكتيري نقي خلال طور النمو المتراجع، تمَ تحديده رياضياً بمعادلة مونود (3-19).

المراجع

1. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 20th ed. Published jointly by American Public Health Association, Washington, DC 20005, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. New York: American Public Health Association, 1998.
2. *Waterborne Pathogens.* 1st Ed. Denver, CO : American Water Works, 1999. AWWA manual ; M48
3. Hammer, Mark J. *Wastewater Treatment in Dry Climates (Desert or Desert with Some Rain).* Alexandria, VA : Water Environment Federation, 2001. 22314-1994.

مسائل

1-3 عرّف مصطلح بكتيريا. ما هي البكتيريا عضوية التغذية؟ في أيّ سلسلة مفضلة تُستخدم البكتيريا الطفيلية المصادر المتوفرة من الأكسجين؟ متى تتحرر

الروائح الكريهة؟ في أثناء تهوية مياه الصرف، كيف تقوم البكتيريا الطفيلية بتثبيت الفضلات العضويّة؟ (ارجع إلى الفقرة 3-1 من القسم 11-6).

2-3 بيّن لماذا تقوم بعض البكتيريا بتحويل الأمونيا إلى نترات (معادلة 3-7 و3-8) ولماذا يقوم بعضٌ آخر باختزال النترات إلى غاز النتروجين؟

3-3 عرّف مصطلح البكتيريا ذاتية التغذية. ما هي التفاعلات البكتيرية في النترتة؟ (ارجع إلى الفقرتين 3-1 و13-7) و في تآكل مجارير الصرف؟ (ارجع إلى الفقرتين 3-1 و10-4) وفي إزالة ألوان مياه الشرب؟ (ارجع إلى الفقرتين 3-1 و 7-18).

4-3 سَمِّ المُمرضات الثلاثة الرئيسة المنقولة بالماء. ما هي الأسباب الرئيسة لتفشي مرض السالمونيسيز نقلاً بالماء؟ في أيّ أصناف من أنظمة الماء يحدث عبره على الأرجح انتشار مرض شيجيلوسيس؟

5-3 عرّف مصطلح الابتدائيات. ما هو الدور الرئيس للابتدائي في المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف؟ (ارجع إلى الفقرة 3-2 و11-6).

6-3 ما هي أعراض الأمراض الناتجة من نوعي الابتدائيات الموجودين عبر العالم؟ ما هو النمط الرئيس لانتقال المرض وما هي بيئات الانتقال الأكثر احتمالاً للحدوث؟

7-3 عرّف المصطلحين الفيروس وملتهمات الجراثيم وما هو حجم الفيروسات بالنسبة إلى البكتيريا؟

8-3 قارن بين دورتي منتج مدى الحياة (Life-Reproductive Cycles) لكلٍّ من الفيروسات والبكتيريا ذاتية التغذية.

9-3 ما هي الطحالب؟ عرّف عملية التركيب الضوئي.

10-3 عرّف معنى مصطلح مُمرض، وسمِّ مجموعات المُمرضات. ما الذي يحدد أنماط وتراكيز المُمرضات في مياه الصرف؟

3-11 عرِّف معنى الطريق البرازي الفموي في نقل الأمراض.

3-12 قارن بين جرعتي الكمون (Latency) والممانعة (Persistence) والجرعة المعدية (Infective) للأسكاريس والسالمونيللا.

3-13 تاريخياً في الولايات المتحدة كانت الأمراض المعدية السائدة هي التيفوئيد، والكوليرا، والزحار. كيف تم استئصالها افتراضياً؟ حالياً الأمراض المعدية السائدة هي الجيارداياسيس والكريبتوسبوريديوسيس والتي تتسبب بإسهال قد يكون مهدداً لحياة الأشخاص الذين يعانون أعراض العوز المناعي. ما هي الإجراءات التي يتوجّب أخذها لتخفيف احتمالية انتقال هذه الأمراض بالماء؟ (ارجع إلى الفقرات 3-5 و7-15).

3-14 ناقش أهمية الحوامل البشرية في نقل الأمراض المعوية. ما هي الأمراض الرئيسة المنقولة بالماء في الولايات المتحدة والتي ينشرها الحوامل البشرية؟ كيف يضخم انتشار اثنين من هذه الأمراض بواسطة الحيوانات؟

3-15 حدد الأطوار الثلاثة لاختبارات الفيروسات المعوية في مياه غير ملوّثة نسبياً. وحيث إن الاستخلاص والتركيز يصطاد جزءاً فقط من الفيروسات في العينة المائيّة، كيف يمكن تقدير دقّة الفصل؟ متى يوصى باختبار الفيروسات المعوية؟

3-16 ضع قائمة بالمشاكل المترافقة بكشف وتحديد الفيروسات. في اختبار مستنبت خليوي، كيف يمكن كشف وعد الفيروسات في ركازة عينة؟ كيف يمكن التعبير عن عد الفيروسات بالوحدات المشكلة للصفائح (PFU)؟

3-17 بعبارة واحدة ما هو الإجراء العام لاختبار الجيارديا سيست وبيوض الكريبتوسبوريديوم؟ في الطريقة 1622، يبلغ حجم العينة 101 فقط لاختبار مياه جدول طبيعية لتقدير بيوض الكريبتوسبوريديوم. باستخدام هذه الطريقة لاختبار مياه الجدول في مواقع مختلفة، لماذا تكون دقّة كشف وإحصاء البيوض منخفضة؟

3-18 لماذا ينبغي على المختبرات التي تقوم باختبارات بيوض الكريبتوسبوريديوم أن يتمّ الكشف والمصادقة عليها لضمان الجودة ؟

19-3 لماذا تُستخدم البكتيريا القولونية ككواشف لنوعيّة وجودة الماء؟ تحت أيّ ظروفٍ يمكن لوثوقية البكتيريا القولونية أن تدلّ على وجود مُمرضات مريبة؟

20-3 يمكن أن يكون مصدر البكتيريا القولونية في المياه السطحية البراز البشري أو براز حيوانات المزرعة أو حتّ التربة. هل يمكن تمييز القولونيات المتأتية من هذه المصادر الثلاثة عن بعضها بعضاً؟

21-3 لماذا يكون الاختبار الإيجابي للقولونيات البرازية في التجهيز بالماء العام أكثر جدية من الاختبار الإيجابي للقولونيات الكلية؟

22-3 ما هي الاختلافات الهامة بين إيشيريشيا كولي وإيشيريشيا كولي O157:H7؟

23-3 لماذا يستخدم اللاكتوز (سكر الحليب)، في كل أوساط الاستنبات، لاختبار مجموعة القولونيات؟

24-3 أعطى تحليل تخمر الأنبوب المتعدد الأنبوب لمياه نهر النتائج التالية، كم يبلغ الـــ MPN وحدود الوثوقية؟

متسلسل تخفيف	جزء العينة (ml)	الأنابيب
0	1	5 من 5
1	0.1	4 من 5
2	0.01	2 من 5
3	0.001	1 من 5
4	0.0001	0 من 5

الأجوبة 2200، 1000−5800

25-3 أعطى تحليل تخمر الأنبوب المتعدد الأنبوب لمياه نهر النتائج التالية:

متسلسل تخفيف	جزء العينة (مل)	الأنابيب الموجبة من 5	
		لوريل تريبتوز	EC
0	1	5	5
1	0.1	5	2
2	0.01	2	2
3	0.001	0	0
4	0.0001	0	0

كم يبلغ الـــ MPN، وما هي حدود الوثوقية للقولونيات الكلية والقولونيات البرازية المتحملة للحرارة ؟

26-3 تمّ اختبار تدفّق مكلور ومرشح من محطة معالجة ثالثية لمياه صرف لتحديد القولونيات الكلية وذلك عبر تطعيم 10 أنابيب تحتوي على لوريل تريبتوز بروث بأجزاء قدرها 10 ml من عينة حجمها 100 ml. وبعد الحضانة، كانت أربعة أنابيب من العشرة صافية بينما أظهرت ستّة منها نمواً مع ظهور فقاعات في الأنابيب المعكوسة لثلاثةٍ منها. ما هي قرينة MPN index/100 ml وما هي حدود وثوقية الـــ 95%؟

27-3 تكتب غالباً معايير اختبار القولونيات البرازية لإعادة استخدام الماء المستصلحة < 2.2/100 ml و< 23/100 ml. اعتماداً على إجراءات اختبار كثافة بكتيرية لتطعيم أجزاء قدرها 10 ml من عينة في عشرة أنابيب، ما هو العدد الأقصى للأنابيب الذي يمكن أن يعطي تفاعلاً إيجابياً يكون متفقاً مع معامل MPN < 2.2 ml لكل 100 ml؟ ومعامل MPN < 23 ml لكل 100 ml؟

28-3 في اختبار الوجود – الغياب للبكتيريا القولونية، ما الذي يدل على اختبار إيجابي للقولونيات الكلية؟ والقولونيات البرازية؟

29-3 صف اجراءات جمع عينة مياه شرب لاختبار القولونيات لتقليل احتمالية تلوّث غير مقصود.

30-3 احسب BOD لخمسة أيام لمياه الصرف المدنيّة اعتماداً على البيانات التالية: حجم عينة مياه الصرف التي أضيفت إلى قارورة 300 ml = 6.0 ml، DO الأولي = 8.1 mg/l، DO لخمسة أيام = 4.2 mg/l. ما قيمة الـــ BOD النهائي بافتراض أن معدّل *k* يساوي 0.1 باليوم؟ (الجواب 195 mg/l و290 mg/l).

31-3 أجري اختبار BOD مستزرع على ماء صرف معالج لمدجنة قدّرت قيمته لـــ 5 أيام بـــ 600 mg/l. أخذت البذرة من خزان تحضير موجود في الموقع الصناعيّ ذي BOD يساوي 200 mg/l. (أ) ما مقدار جزء العينة الذي ينبغي

استخدامه لإعداد التخفيفات المتوسطة لمياه الصرف ولاختبارات الزرع؟ (ب) احسب قيمة BOD لمياه صرف المدجنة إذا كان الــ DO الأولي في كلّ من البذرة وقارورات العينات 8.2 mg/l وقيمة الخمسة أيام تساوي 3.5 mg/l و4 mg/l لقارورة اختبار الزرع ولعينة مياه الصرف المستزرعة على التوالي. استخدم الإضافات الحجمية من الجزء (أ) وافترض أن حجم البذرة المُستخدمة في قارورة الــ BOD يساوي 10% من تلك المُستخدمة في اختبار الزرع. (الأجوبة (أ) 2.0 ml من مياه صرف المدجنة زائد 7.0 ml من البذرة من عينة البذرة (ب) 560 mg/l).

3-32 احسب BOD و k ثابت المعدل لخمسة أيام لمياه صرف مدنية خام اعتماداً على بيانات الاختبار الآتية. ارسم منحني ومخطط BOD- زمن، لتقدير معدّل k. ملئت قوارير 300 مل بــ 2% من مياه الصرف مزجت بمياه التخفيف. وكان الأكسجين المُذاب الأولي DO في كلّ القوارير 8.3 mg/l وذلك اعتماداً على ثلاث قوارير تمت معايرتها حجمياً بعد تحضيرها. وكانت بيانات متبقيات DO مع الزمن للقوارير التي تمّ حضنها كالآتي: t = 1.1 يوم، DO = 6.7 mg/l، 2.2 يوم، 6.0 mg/l، 4.3 يوم، 4.7 mg/l، 6.3 يوم، 3.8 mg/l، 14.4 يوم، 2.4 mg/l.

3-33 احسب BOD و k ثابت المعدل الكربوني لخمسة أيام لتدفّق غير مكلور بعد المعالجة بتهوية حمأة منشطة. ارسم منحني ومخطط BOD-time، لتقدير معدّل k. تم تحضير تسع عينات متطابقة بإضافة 60 ml من مياه الصرف إلى كل قارورة تبعها 240 mg/l من مياه التخفيف. عُويِرت ثلاث قوارير حجمياً بعد إعدادها لتقدير الــ DO في 8.1 mg/l. حُضِنت القوارير الست الأخرى واختبرت للحصول على بيانات متبقيات DO مع الزمن فكانت النتائج كالتالي:1.3 يوم، DO = 7.2 mg/l ، 3.3 يوم، 6.4 mg/l، 4.3 يوم، 6.2 mg/l، 5.3 يوم، 5.8 mg/l، 8.3 يوم، 4.5 mg/l، 11.3 يوم، 3.5 mg/l.

3-34 اجري اختبار BOD على مياه صرف مدنيّة حاوية على مياه صرف ناتجة عن معالجة أغذية طرحت في نظام المجارير. وكان الغرض من الاختبار

رسم منحني BOD-time، احسب قيمة BOD-خمسة أيام، وقم بتقدير معدّل k بيانياً. مزجت مياه الصرف بمياه تخفيف لإعداد مزيج 1.5% والذي يكافئ 4.5 ml من مياه الصرف في كلّ قارورة 300 ml. كان DO الأولي 8.1 mg/l اعتماداً على معايرة ثلاث قوارير حجمياً. كانت نتائج معايرة القوارير المحتضنة كالتالي: 0.63 يوم، DO = 6 mg/l، 0.9 يوم، 5.6 mg/l، 1.7 يوم، 4.2 mg/l، 2.8 يوم، 3.1 mg/l، 3.6 يوم، 2.3 mg/l، 3.9 يوم، 2.1 mg/l ، 5.0 يوم، 1.7 mg/l.

35-3 إن بيانات BOD المدرجة أدناه هي سلسلة من الاختبارات على عينة مركَّبة جمعت على مدار 24 ساعة من التدفّق الخارج من محطة ثالثية تعالج مياه صرف مدنيّة عبر ترشيح بوسط حُبيبي بعد تهوية حيويّة. جمعت العينات قبل كلورتها لذا لم يكُ من الضروري زرع القوارير.

الزمن باليوم	1	2	3	5	6	9	13	17
BOD (mg/l)	4	6.3	12.5	13.6	14.3	18.2	20.2	23.8

مثّل بيانياً BOD مقابل الزمن وحدد قيمة BOD-خمسة أيام. واحسب قيم $(time/BOD)^{1/3}$ ، مثل بيانياً هذه القيم مقابل الزمن بهدف تقدير معدّل *k*.

36-3 إن بيانات BOD المدرجة أدناه هي لسلسلة اختبارات أجريت على عينة مركبّة جمعت على مدار 24 ساعة من مياه صرف مصنع لإنتاج الفواكه المعلبة.

الزمن باليوم	2	3	5	6.1	9	12
BOD (mg/l)	50	150	252	280	345	390

مثل بيانياً BOD مقابل الزمن وحدد موقع قيمة BOD-خمسة أيام. (يوجد في المخطط زمن تخلف، استعرض الشكل 3-15). احسب قيم $\left(\frac{\text{[illegible]}}{BOD}\right)^{1/3}$، ارسم بيانياً هذه القيم مقابل الزمن لتقدير معدّل *k*.

37-3 حدد قيمة BOD لمياه صرف صناعة سكاكر كراميل اعتماداً على البيانات التالية. البذرة من مياه صرف مدنيّة عتّقت وخضعت للترسيب.

جزء مياه الصرف (ml)	جزء البذرة (ml)	DO أولي (mg/l)	DO خمسة أيام (mg/l)
قوارير مختبرة لتحديد الأكسجين الأولي المُذاب			
5.0	1.5	8.8	
6.0	1.5	8.7	
7.0	1.5	9.0	
اختبارات لتقدير BOD للبذرة			
15	0		5.4
15	0		5.5
15	0		5.7
اختبارات لتقدير BOD لمياه الصرف			
8.0	1.5		0.5
8.0	1.5		0.8
8.0	1.5		0.4
6.0	1.5		3.1
6.0	1.5		2.9
6.0	1.5		2.9
4.0	1.5		4.6
4.0	1.5		4.5
4.0	1.5		4.8

38-3 أنجز اختبار BOD مستزرع لمياه صرف معالجة مواد غذائية ذات قوة كبيرة. استخدمت أجزاء مقدارها 20 ml في إعداد قوارير زرع 300 ml من مياه صرف عتّقت وخضعت للترسيب. احتوت قوارير BOD للعينات المستزرعة على 1.0 ml من مياه صرف صناعية و 2.0 ml من مواد البذرة. لقد أدرجت نتائج هذه السلسلة من قوارير الاختبار في الجدول التالي. أحسب قيم BOD. (B1 =mg/l

8.2، D1 = 8.2 mg/l، f = 0.10، p= 1/300 mg/l). ارسم منحني BOD مقابل الزمن، ما هي قيمة BOD– خمسة أيام؟ قدّر قيمة معدّل k (الأجوبة قيمة BOD– خمسة أيام = 900 mg/l وk = 0.07 باليوم).

الزمن (أيام)	اختبارات الزرع B2 mg/l	اختبارات العينة D2 mg/l	الزمن (أيام)	اختبارات الزرع B2 mg/l	اختبارات العينة D2 mg/l
0	8.2	8.2	7.9	4.5	4.1
1.0	7.3	7.2	9.8	4.1	3.8
1.9	6.5	6.4	11.8	3.9	3.5
2.9	5.9	5.8	14.0	3.4	2.9
3.8	5.5	5.3	15.6	3.6	2.7
4.7	5.1	5.0	19.0	3.8	2.1
6.0	4.8	4.6			

3-39 أنجز اختبار BOD مستزرع لمياه صرف معالجة لحوم. في ما يلي بيانات قيمة الأكسجين المُذاب DO لاختبار البذرة ولمياه الصرف المستزرعة. جُهِّزت قوارير BOD للبذرة (مياه صرف مدنية عُتِّقت وخضعت للترسيب) عبر إضافة 15 ml لكل قارورة 300 ml. جهزت قوارير BOD لمياه صرف معالجة لحوم بإضافة 2.0 ml من مياه الصرف و1.5 ml من البذرة.

الزمن (أيام)	قياسات DO في القوارير	
	البذرة (mg/l)	مياه صرف مستزرعة (mg/l)
0	7.9	8.1
1.0	6.5	5.5
2.2	5.4	4.2
3.0	4.9	3.7
4.0	4.0	2.5
5.0	3.8	2.1
6.0	3.8	2.1
7.0	3.6	2.0

اعتماداً على معدّلات الاختبارات الثلاثة، كان DO الأولي في قوارير الزرع 7.9 mg/l، و كان DO الأولي في قوارير لمياه الصرف 8.1 mg/l. ارسم منحنيات BOD-timeلكل من مياه الصرف المستزرعة ولمياه صرف معالجة اللحوم. حدد قيم BOD خمسة أيام ومعدلات k باستخدام الخطوات البيانية.

40-3 أُنجز تحليل المواد الصلبة على مياه صرف محلية تمّ اختبارها لتحديد BOD في المسألة 3-32، تمّ إنجاز التحليل بثلاثة مكرّرات. اعتماداً على بيانات الاختبارات الآتية، احسب تراكيز المواد الصلبة الكلية، المواد الطيّارة الكلية، المواد الصلبة المعلقة، والمواد الصلبة المعلقة الطيّارة.

بيانات اختبار المواد الصلبة الكلية TSS			
رقم الطبق	1	2	3
وزن الطبق فارغاً (g)	52.842	53.252	53.073
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن العينة (g)	110.0	104.0	102.8
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن المواد الصلبة الجافة (g)	52.902	53.308	53.126
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن المواد الصلبة المحترقة (g)	52.859	53.287	53.092
بيانات اختبار المواد الصلبة المعلقة SS			
رقم الاختبار	1	2	3
وزن المرشح (g)	0.1160	0.1165	0.1152
حجم العينة (g) الجافة (g)	48	72	72
وزن المرشح (g) + وزن المواد الصلبة (g)	0.1270	0.1353	0.1332
وزن المرشح (g) + وزن المواد الصلبة المحترقة (g)	0.1170	0.1208	0.1198

(الأجوبة TS = 1070 mg/l (1050، 1100، 1070)، أملاح طيّارة إجمالية (Total Volatile Solids) (TVS) = تقديراً 720 mg/l (750، 410، 690)

%69،(Suspended Solids, SS) = 250 mg/l (229 ، 261 ، 250)، (Volatile Suspended Solids, VSS) = 198 mg/l (208 ، 201، 186) %79).

41-3 أُنجز تحليل المواد لصلبة على مياه صرف معالجة لحوم تمّ اختبارها لتحديد BOD في المسألة **39-3**. تمّ إنجاز التحليل بثلاثة مكرّرات. اعتماداً على بيانات الاختبارات الآتية، احسب تراكيز المواد الصلبة الكلية (Total Suspended Solids, TSS)، المواد الطيّارة الكلية (Total Volatile Solids, TVS)، المواد الصلبة المعلقة (Suspended Solids, SS)، والمواد الصلبة المعلقة الطيّارة (Volatile Suspended Solids, VSS).

بيانات اختبار المواد الصلبة الكلية TSS			
رقم الطبق	1	2	3
وزن الطبق فارغاً (g)	51.494	51.999	50.326
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن العينة (g)	109.5	103.4	118.4
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن المواد الصلبة الجافة (g)	51.587	52.081	50.437
وزن الطبق فارغاً (g) + وزن المواد الصلبة المحترقة (g)	51.541	52.042	50.383
بيانات اختبار المواد الصلبة المعلقة SS			
رقم الاختبار	1	2	3
وزن المرشح (g)	0.1154	0.1170	0.1170
حجم العينة (g) الجافة (g)	25	25	30
وزن المرشح (g) + وزن المواد الصلبة (g)	0.1241	0.1259	0.1278
وزن المرشح (g) + وزن المواد الصلبة المحترقة (g)	0.1160	0.1173	0.1178

42-3 احسب النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية والنسبة المئوية للمواد الطيّارة في العينة، والنسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية والتي هي طيارة في التحليل المخبري لمياه صرف حمأة، (ارجع إلى المواد الصلبة في الفقرة 2-11).

وزن الطبق فارغاً على الميزان التحليلي (g)	50.160
وزن الطبق على ميزان بسيط (g)	50.2
وزن الطبق مع عينة الحمأة (g)	90.8
وزن الطبق مع المواد الصلبة الجافة للحمأة (g)	52.783
وزن الطبق مع المواد الصلبة المحترقة (g)	50.969

43-3 ما هو مصدر البكتيريا والابتدائيات في المعالجة الحيوية لمياه الصرف؟ هل يتوجّب شراء مستنبتات مكروبية "خاصة" لتطعيم العمليات البيولوجية؟

44-3 ضع قائمة بالعوامل الرئيسة المؤثرة في معدّل النمو البيولوجي.

45-3 كيف يمكن أن تؤثّر درجة الحرارة في النشاط الحيوي في النطاقات الوسيطة، من أجل قيمة Θ تساوي 1.072، ما مقدار زيادة درجات الحرارة التي تتطلبها زيادة معدّل النشاط الحيوي بنسبة 100% (ضعف المعدل)؟ إذا زادت درجة الحرارة بمقدار $5^{\circ}C$ ما مقدار زيادة النشاط الحيوي؟

46-3 لدى حمولة BOD قدرها $640\ g/m^3.d$، أنتجت عملية تهوية حيويّة لدى درجة حرارة $25^{\circ}C$، تدفّقاً خارجاً ممتازاً. كم ينبغي أن تكون حمولة BOD لنوعيّة التدفّق الخارج نفسه؟ (الجواب $1000\ g/m^3.d$).

47-3 تناقص معدّل انخفاض (BOD) في تهوية مياه صرف صنعية بنسبة 20% عند انخفاض درجة حرارة خزان التخمير المخبري من $20^{\circ}C$ إلى $16^{\circ}C$. باستخدام المعادلة 3-17، احسب معامل درجة الحرارة.

3-48 في عملية تهوية حمأة منشطة ما هي العضويات المجهرية التي تكون المغذيات الرئيسة وتلك التي تكون المغذيات الثانوية؟

3-49 لماذا يجب أن تتم عملية الحمأة المنشطة في حالة الموت جوعاً؟

3-50 لماذا يدعم وجودُ أعداد كبيرة من الطحالب استقرارَ البرك؟

3-51 صف شروط النمو الحيوي الذي تمّ تحديده رياضياً بمعادلة مونود.

3-52 تمّ تطعيم سلسلة من أنابيب التخمير تحوي تراكيز مختلفة من الغلوكوز الموجود في بروث مغذي، بمستنبت بكتيري نقي. وتم تحديد التراكيز في الخلايا ضمن وسط البروث بعد 16 ساعة من الحضانة تحت درجة حرارة $37^{\circ}C$. وفي ما يلي معدّلات النمو وتراكيز الغلوكوز الأولي. مثِّل بيانياً معدّل النمو، معبراً عنه بالانقسام الخليوي في الساعة مقابل التركيز الأولي للغلوكوز. قدِّر معدّل النمو الأقصى وثابت الإشباع (تركيز الغلوكوز لدى نصف قيمة معدّل النمو الأقصى). اكتب معادلة بصيغة المعادلة 3-19 وارسم منحني هذه المعادلة على المخطط البياني الذي حملت عليه البيانات. هل يظهر نمو هذا المستنبت النقي وكأنه تابع قطع زائد كما تحدده علاقة مونود؟

غلوكوز (مول$\times 10^{-4}$)	انقسام خليوي (في الساعة)	غلوكوز (مول$\times 10^{-4}$)	انقسام خلوي (في الساعة)
0.1	0.23	0.8	0.94
0.1	0.28	1.6	1.06
0.2	0.32	3.2	1.15
0.4	0.71		

الفصل 4

الهيدروليك والهيدرولوجيا

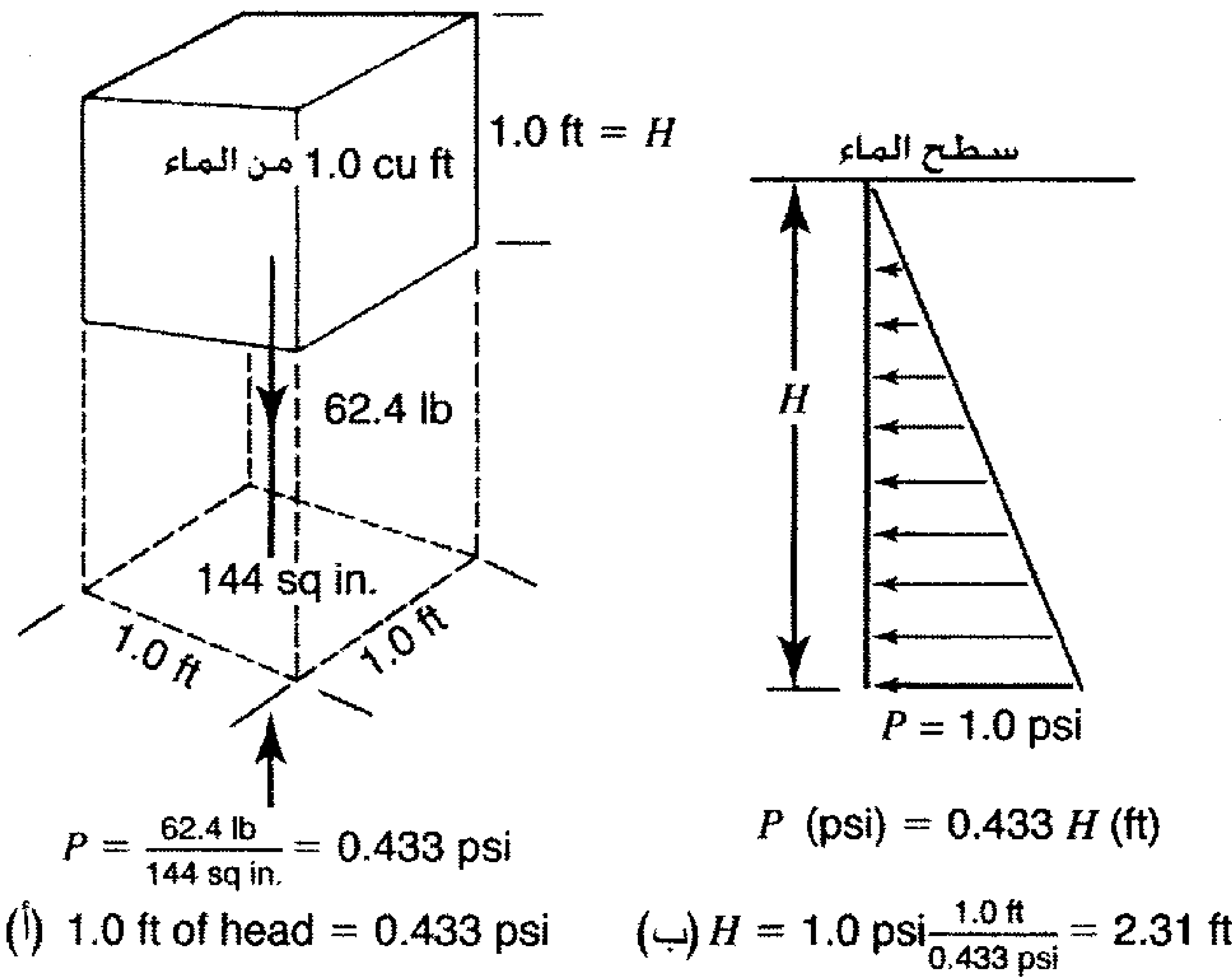
تعرض الفقرات الآتية المبادئ الأساسية القابلة للتطبيق في أنظمة توزيع الماء وجمع مياه الصرف. تقدم خصائص الانسياب البطيء للجداول والتطبّق الجاري في البحيرات خلفيةً لدراسة تلوّث المياه. إن المفاهيم القاعدية لهيدرولوجيا المياه الجوفية مفاهيم أساسية لفهم كيفية إعداد بئر وتشغيله.

1-4 ضغط الماء

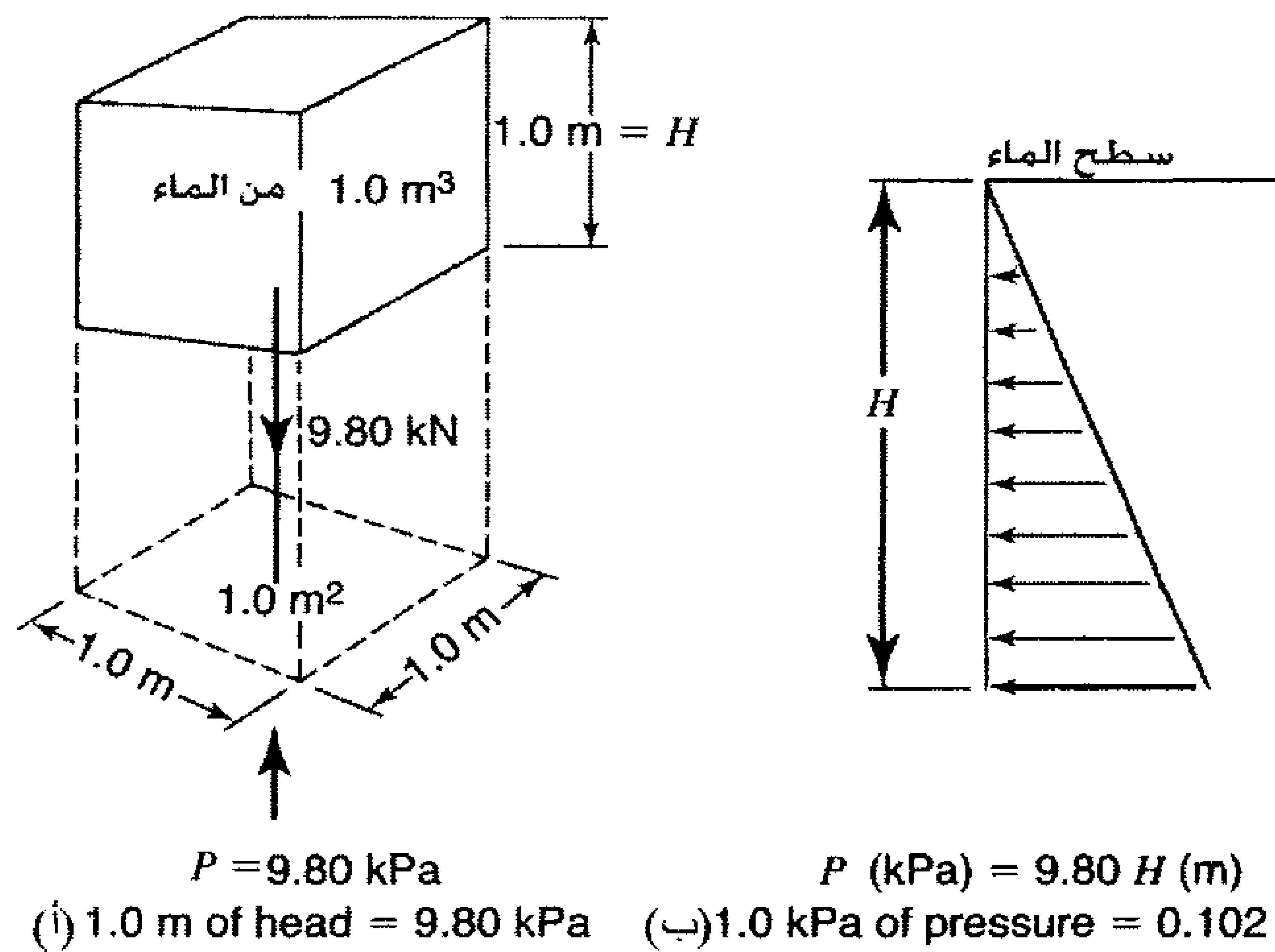
يُشار إلى كتلة سائل في وحدة حجم بكثافة السائل. إن كثافة الماء لدى m^3 درجة حرارة $60^{\circ}F$ ($15^{\circ}C$) وضغط يعادل 1 ضغط جوي تساوي 1.94 slugs/cu ft أيّ ($999 \frac{kg}{m^3}$). إن القوة التي تبديها الثقالة على 1.0 cu ft ($1.0\ m^3$) من الماء تساوي 62.4 lb (9.80 kN). وتعادل هذه القوة الكثافة مضروبة بتسارع الجاذبية والتي تبلغ $32.2\ ft/sec^2$ ($9.81\ m/sec^2$).

إن الضغط هو القوة الممارسة على وحدة المساحة. يظهر الشكل (4-1أ) أن الضغط الممارس على قاعدة وعاء حجمه 1.0 cu ft مملوءة بالماء تساوي 0.433 Psi. وفي الهيدروليك الهندسي، يُعبّر عادةً عن ضغط الماء بمصطلحات أقدام للعلوّ (Feet of Head) وأيضا بالـ Psi. إن العلاقة بين هذه الوحدات موضحة في (الشكل 4-1أ)، حيث يبذل علوّ مياه يبلغ 1 ft ضغطاً قدره 0.433 Psi. يتزايد ضغط الماء خطياً مع العمق تحت السطح بحيث إن الضغط بالـ Psi مساوٍ لـ 0.433 مضروباً

بالعمق مقدراً بالأقدام. يظهر شكل (4-1ب) الضغط المبذول أفقياً فقط وذلك لتبسيط العرض. وفي الواقع يبذل الضغط بشكلٍ متساوٍ في كل الاتجاهات. تدل الحسابات المعروضة أسفل المخطط على أن علوّ 2.31 ft ينتج ضغط مياه قدره 1 Psi. وعلى ذلك فإن 1 ft من علوّ يكافئ 0.433 Psi. وعلى العكس فإن ضغطاً قدره 1.0 Psi مكافئ لـــ 2.31 ft من العلوّ.



شكل 4-1: العلاقات الأساسية بين ضغط الماء بواحدات **Psi** وأقدام من علوّ الماء



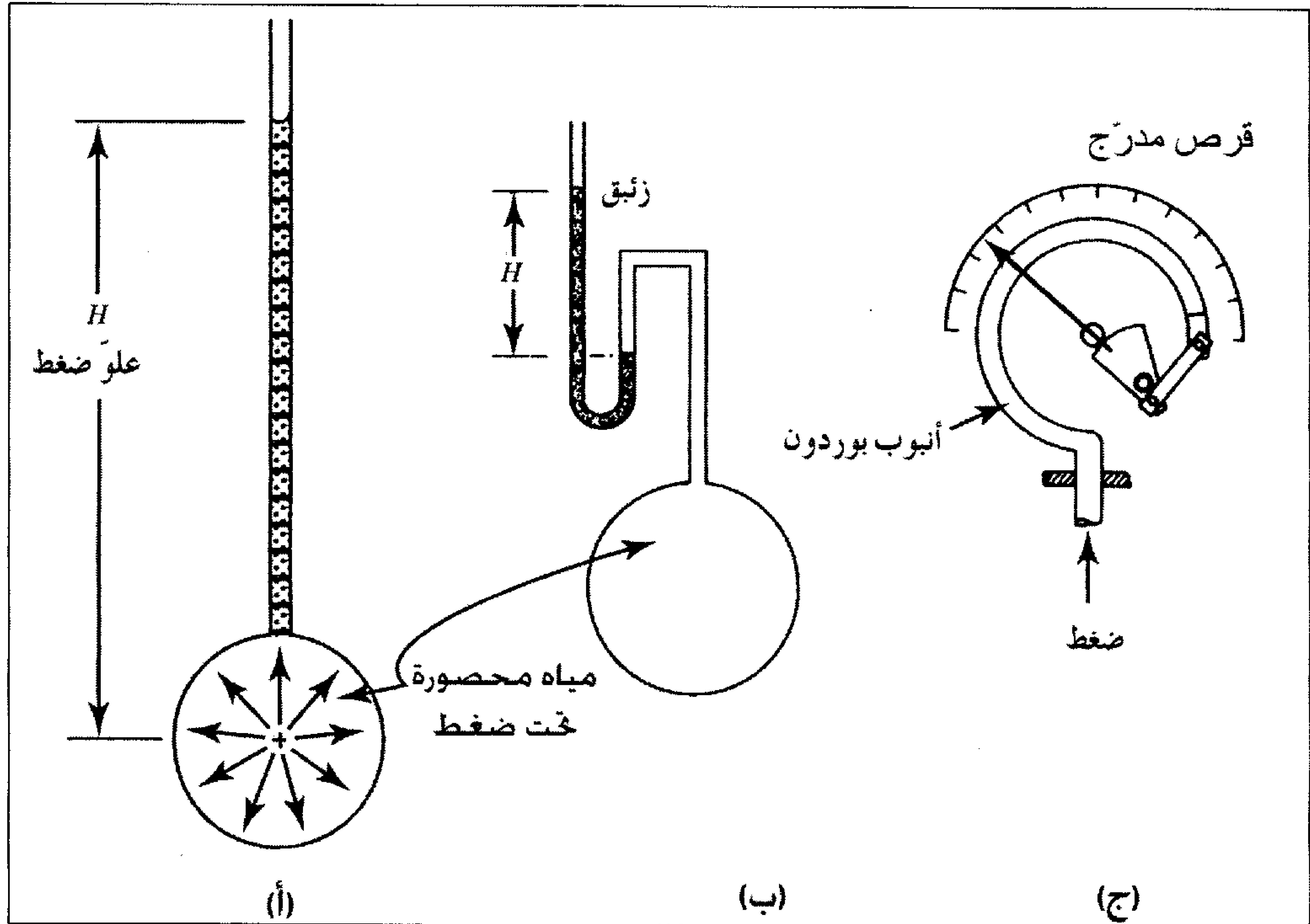
شكل 4-2: العلاقات الأساسية بين ضغط الماء بواحدات **kPa** وأمتار من علوّ الماء

يعرض الشكل 4-2 علاقات ضغط الماء وعلوّ مياه في SI الوحدات المترية. إن الضغط المطبق على قاعدة وعاء حجمه 1.0 م^3 مملوءة بالماء تحت درجة حرارة $15^{\circ}C$ يساوي 9.80 kPa ولذلك فإن 1.0 m من علوّ مياه يبذل ضغطاً قدره 9.80 kPa، أو أن 1.0 kPa من الضغط يساوي 0.102 m من علوّ مياه.

يتكون جهاز قياس الضغط البسيط (البيزومتر Piezometer) الموضّح في (الشكل 4-3أ) من أنبوب صغير يرتفع عن وعاء من الماء موجود تحت الضغط. يدل الماء في الأنبوب على ضغط الماء المحصور. ونادراً ما تكون أجهزة البيزومتر المائية عملية في قياسات الضغط، نظراً إلى تجاوز قيم الضغط علوّ أعمدة الماء التي تكون مناسبة لقراءة قيمه. ويمكن استخدام عمود من الزئبق لقياس قيم ضغوط عالية نسبياً، وذلك ضمن مجال علوّ محدود بسبب كون الزئبق أثقل من الماء بحوالى 13.6 مرة، وهذا يعني أن علوّ قدره 1 ft من الزئبق يكافئ ضغطاً قدره 5.9 Psi. ويظهر (الشكل 4-3 ب) مخططاً لمقياس ضغط زئبقي (مانومتر Manometer). إن قراءة الضغط تساوي الفرق بين ضغوط السائل بين ساقي أنبوب له شكل U. ويقتصر عموماً استخدام المانومترات على التطبيقات في الأماكن المغلقة حيث ترتبط الواحدة بمكان ثابت.

يقاس ضغط الماء عادةً بمقياس بوردون (Bourdon Gauge) (الشكل 4-3ج) وهو أنبوب معدني مجوف مقطعه إهليلجي منحني بحيث يشكل دائرة مع مؤشر ملحق بنهايته بواسطة وصلة مناسبة. ومع ازدياد الضغط ضمن الأنبوب، يميل المقطع الإهليلجي إلى أن يصبح دائرياً، وتتحرك النهاية الحرة للمقياس نحو الخارج. يمكن معايرة القرص المدرج كي يقرأ ضغط المقياس بوحدات Psi. تقيس مقاييس بوردون والمانومترات فعلياً الضغط بالنسبة إلى الضغط الجوي. (الضغط الجوي أو الضغط البارومتري ينتج عن ثقل الكتلة السميكة من الهواء فوق سطح الأرض). وتحت ظروف جوية قياسية يكون الضغط البارومتري عند سطح البحر 14.7 Psi أو (kPa 101). فإذا كان الضغط المقاس أكبر من الضغط الجوي فإن قيمته تدعى أحياناً ضغط

المقياس (Pressure Gauge). أما إذا كان الضغط المقاس أصغر من الضغط الجوي فيشار إليه بمصطلح الخلاء (Vacuum). أما الضغط المطلق (Absolute Pressure) فهو مصطلح يستخدم لقراءة الضغط الجوي بالنسبة إلى الصفر المطلق.



شكل 4-3: أدوات قياس ضغط الماء

2-4 علاقات الضغط-السرعة-العلو

إن العلاقة بين كمية انسياب الماء، ومتوسط السرعة، ومساحة المقطع العرضي للانسياب معطاة بالمعادلة الآتية:

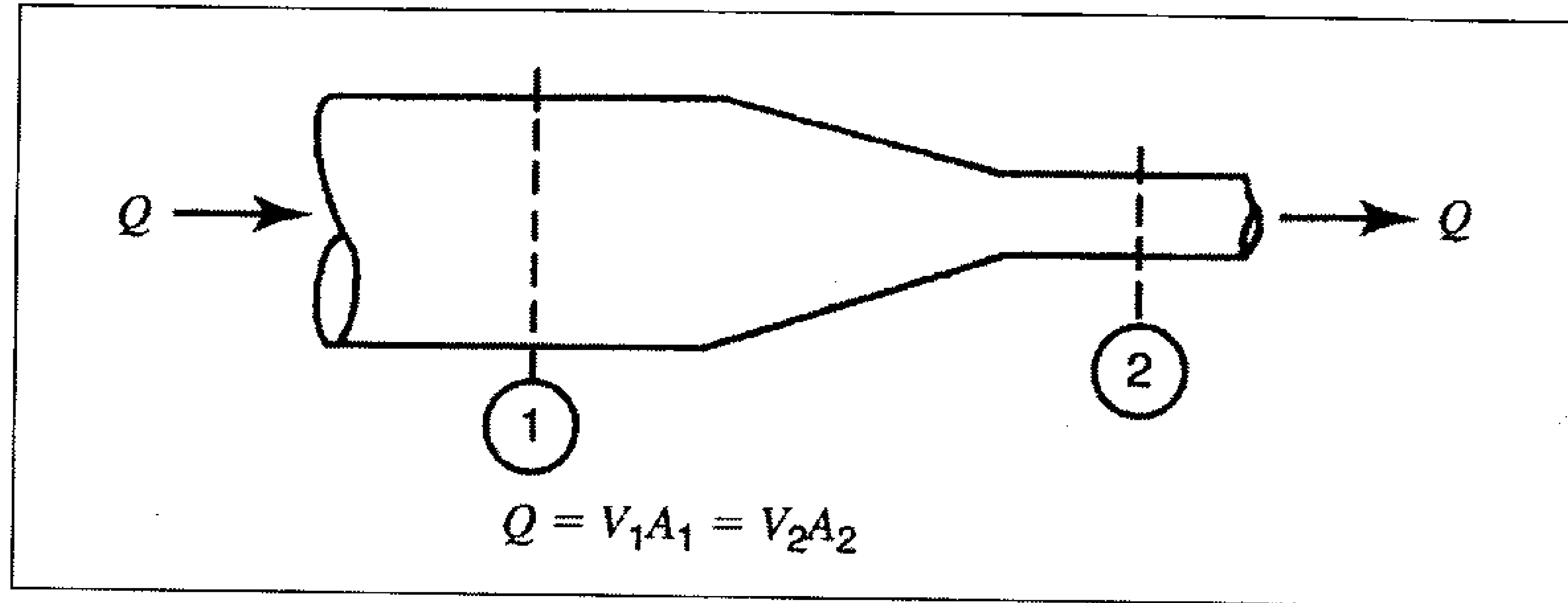
$$Q = VA \qquad (1\text{-}4)$$

حيث Q = الكمية مقدرة cu ft/sec (m^3/sec)

V = السرعة ft/sec (m/sec)

A = مساحة المقطع العرضي للانسياب ft^2 (m^2)

وتعرف هذه الصيغة بمعادلة الاستمرارية (Continuity Equation). وفيما يتعلق بالسائل غير القابل للانضغاط، فإن تناقصت مساحة المقطع العرضي (يصبح قطر الخط الرئيس للمياه أصغر)، فإن سرعة الانسياب يجب أن تزداد، وبالعكس فإن ازدادت المساحة، ستتناقص السرعة (شكل 4-4).



شكل 4-4: معادلة انسياب سوائل غير قابلة للانضغاط

تساوي الطاقة الكلية في أيّ نقطة من النظام الهيدروليكيّ مجموع كلّ من علوّ الارتفاع، علوّ الضغط وعلو السرعة

الطاقة الكلية = علوّ الارتفاع + علوّ الضغط + علوّ السرعة

$$E = Z + \frac{p}{w} + \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث E = علوّ الطاقة الكلية

P = الارتفاع عن مستوى مرجعي

V = الضغط

w = وحدة ثقل السائل

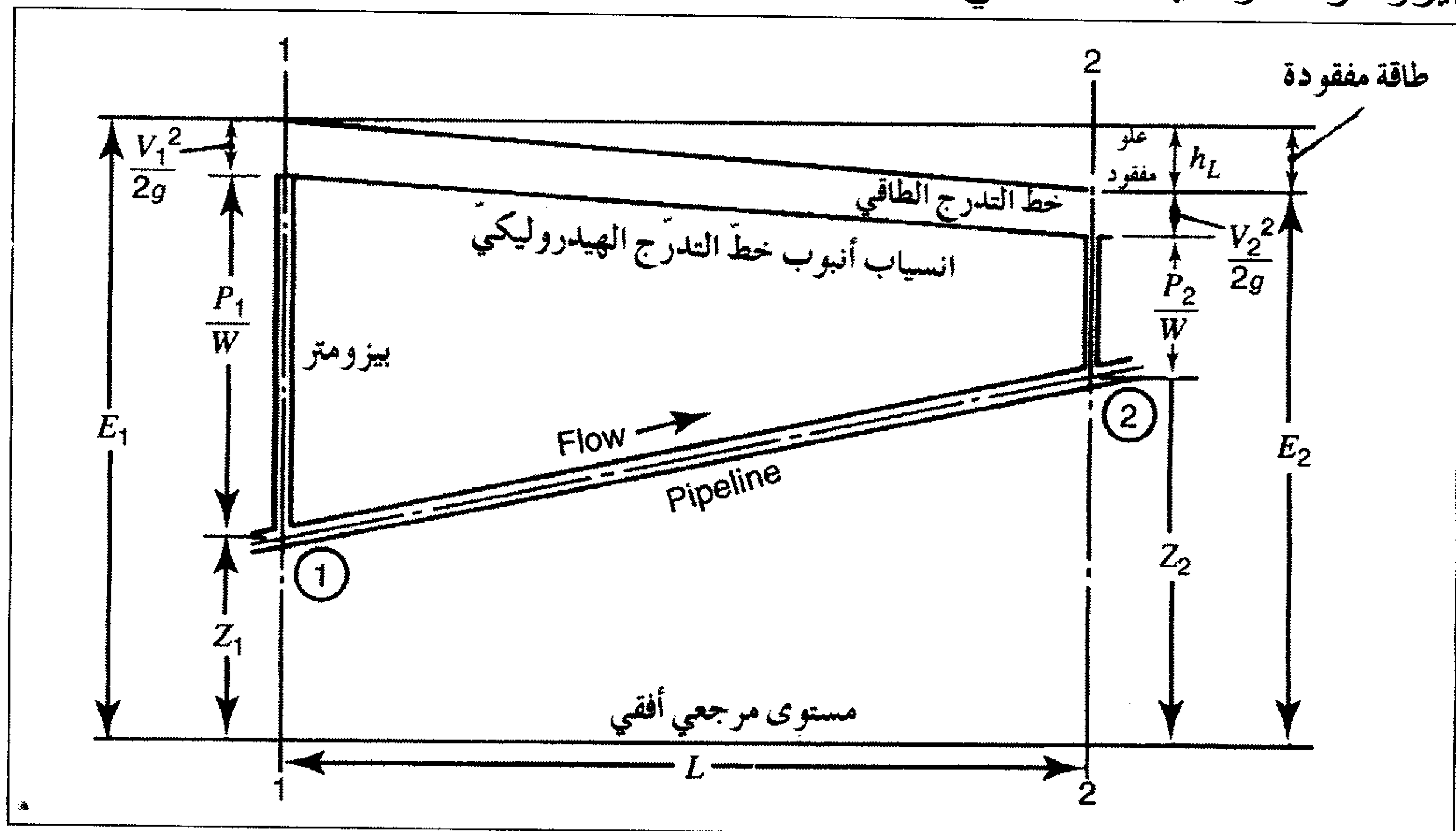
g = تسارع الثقالية

إن الخط الشاقولي عند النقطة 1 على الطرف الأيسر للشكل 4-5 يمثّل معادلة الطاقة الكلية. يساوي علوّ الضغط الارتفاع الذي سيصل إليه الماء في قناة مقياس الضغط المقحمة في الأنبوب. ويساوي علوّ الارتفاع المسافة الشاقوليّة Z من مستوى مرجعي مفترض إلى الأنبوب. إن مجموع هذين العلوّين هو العلوّ الهيدروليكيّ.

ويساوي علوّ السرعة، الطاقة الحركية في انسياب الماء وبإضافة قيمتها إلى العلوّ الهيدروليكيّ نصل إلى الطاقة الكلية. وإذا استخدمت واحدات ft-sec-lb في المعادلة 2-4 فإن كلّ حسابات العلوّ المنفصلة ستكون بالقدم.

إذا قورنت الطاقة بالواحدات الإنجليزية في نقطتين مختلفتين في نظام الأنابيب (شكل 4-5)، فستنتج المعادلة 4-3. ويمثل المصطلح h_L ضياع الطاقة في أيّ نظام حقيقي. وضياع الطاقة الحقيقي يرجع إلى قوى الاحتكاك بين الماء المتحرّك وجدار الأنبوب، ولكن قد يحدث ضياع للطاقة نتيجة اضطراب الانسياب الناتج عن الصمّامات، والانثناءات في خطوط الأنابيب وتغيّر أقطارها.

يدعى الخط الوهمي الواصل بين نقاط الطاقة الكلية بالتدرّج الطاقي (Energy Gradient) أو خط التدرّج (Grade Line). وينبغي لهذا الخط أن يميل دوماً باتجاه الانسياب، مبدياً تناقصاً في الطاقة، إلا إذا أُضيفت طاقةٌ جديدة إلى النظام عبر مضخة على سبيل المثال. ويعرّف التدرّج الهيدروليكيّ بأنه الخط الواصل بين مستوى الارتفاع وطاقات الضغط. ويتمّ تحديده عبر ربط سطوح الماء في مواسير بيزومترات وهمية مقحمة في شبكة الأنابيب.



شكل 4-5: معاملات معادلة الطاقة بدلالة ارتباطها بانسياب الماء في الأنابيب

$$Z_1 + \frac{p_1}{62.5} + \frac{V_1^2}{64.4} = Z_2 + \frac{p_2}{62.5} + \frac{V_2^2}{64.4} + h_L \qquad \textbf{(3-4)}$$

حيث Z = الارتفاع، ft

P = الضغط، lb/cu ft

V = السرعة، ft/sec

h_L = فقد العلوّ، in

62.4 = وحدة ثقل الماء، lb/cu ft

64.4 = 2g، ft/sec^2

ويعبر عن المعادلة 4-3 في الوحدات المترية كالتالي:

$$Z_1 + \frac{p_1}{9.80} + \frac{V_1^2}{19.6} = Z_2 + \frac{p_2}{9.80} + \frac{V_2^2}{19.6} + h_L \qquad \textbf{(4-4)}$$

حيث Z = الارتفاع بالمتر

P = الضغط، kPa (kN/m^2)

V = السرعة، (m/sec)

h_L = فقد العلوّ، بالأقدام(ft)

9.80 = وحدة ثقل الماء، kN/m^2

19.6 = 2g، m/sec^2

يمكن حساب فقد الضغط الناتج من احتكاك الأنبوب باستخدام معادلة دارسي فايسباخ (Darcy Weisbach Equation)

$$h_L = f\,\frac{LV^2}{D2g} \qquad \textbf{(5-4)}$$

حيث h_L = فقد الضغط، ft

f = عامل الاحتكاك، K

L = طول الأنبوب، ft

V = سرعة الانسياب، ft/sec

D = قطر الأنبوب، ft

يرتبط عامل الاحتكاك f بالخشونة النسبية لمادة الأنبوب ولخصائص انسياب السائل. فمن أجل جريان مياه عكر، فإن قيمة f يمكن أن تؤخذ من المعادلة 4-5 وذلك اعتماداً على قطر الأنبوب وخشونة مادته لتستخدم في المعادلة 4-6.

تسبب الصمّامات والتوصيلات والتجهيزات والملحقات الأخرى الفرعية اضطراباً في انسياب الماء ما يتسبّب بفقودات العلوّ إضافة إلى ضياع بسبب الاحتكاك ضمن الأنبوب. وتكون في نظام توزيع نموذجي على تباعدات غير نظامية، وعلى ذلك يكون الفقد الناتج من الملحقات الفرعية مهملاً نسبياً مقارنة بالفقد الناتج من احتكاك الأنابيب. وفي حالة وجود محطات ضخ شبكة تمديدات لمحطّة ضخ، تكون الفقودات الثانويّة في الصمّامات والملحقات الفرعية ذات اعتبار وتشكّل جزءاً رئيساً من الفقودات الكلية. يمكن التعبير عن واحدة فقد العلوّ كمكافئ لفقد عبر فقد طول محدّد من الأنبوب أو بالمعادلة:

$$h_L = \frac{KV^2}{2g} \tag{6-4}$$

حيث h_L = فقد العلوّ، ft (m)

V = سرعة الانسياب، ft/sec (m/sec)

k = معامل الفقد

إن الطول المكافئ لأنبوب يتسبب بفاقد الضغط نفسه ويعبر عنه بعدد يمثّل قطر الأنبوب. يقدّم الجدول 4-1 قيم k والأطوال المكافئة لأنبوب ذي صمّامات وتوصيلات وتجهيزات مختلفة.

جدول 4-1: فقودات العلوّ الثانويّة التقريبية في التوصيلات والتجهيزات

التوصيلات أو الصمامات	معامل الفقد	الطول المكافئ (أقطار الأنبوب)
وصلة تي (أنبوب رئيس)	0.60	20

60	1.80	وصلة تي (أنبوب فرعي)
		90° كوع
32	0.90	نــق قصــير
27	0.75	نــق متوســط
20	0.60	نق(*) طويل
15	0.42	كوع 45
17	0.48	صمّام بوابة (مفتوح)
135	3.7	صمّام تدقيق متأرجح (مفتوح)
40	1.2	صمّام فراشة (مفتوح)

(*) نق = نصف القطر

مثال 4-1

احسب فقد العلوّ في خطّ أنبوب قطره .24 in وطوله 5000 ft من الخرسانة ذي جدران ملساء (ε = 0.001) ينقل انسياب مائي قدره 10 cu ft/sec.

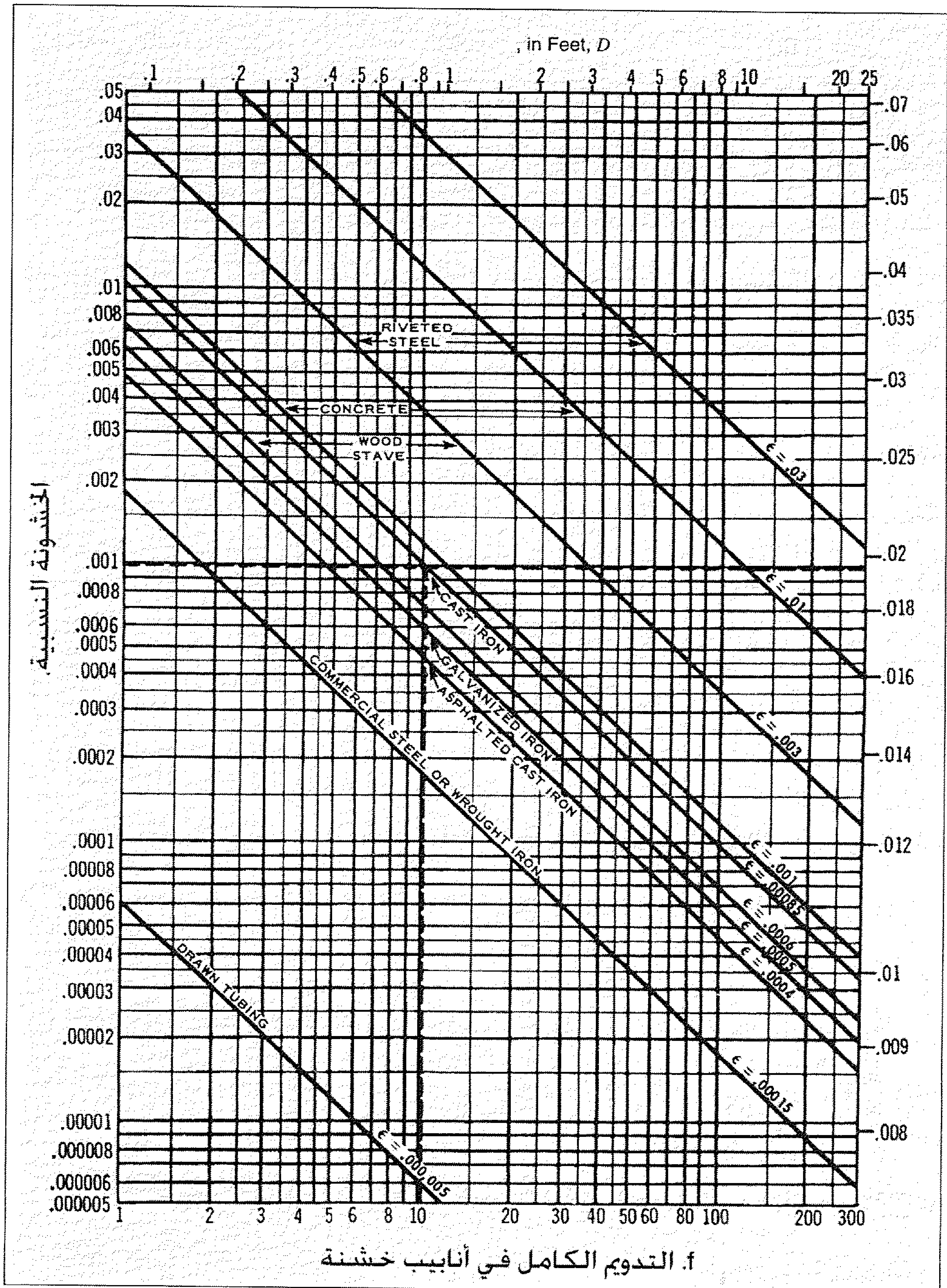
الحل

باستخدام المعادلة 4-1

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{10\,\text{cu ft/sec}}{\pi\,\text{sq ft}} = 3.2 \ \ \text{ft/sec}$$

من الشكل 4-6، وبتعويض d = .24 in و ε = 0.001، f = 0.017. سيعطي التعويض في المعادلة 4-5

$$h_L = 0.017\ \frac{5000}{2} \times \frac{(3.2)^2}{2 \times 32.2} = 6.8\ \text{ft}$$



شكل 4-6: الخشونة النسبية لمواد الأنبوب ومعاملات الاحتكاك لانسياب أنبوب (من انسياب السوائل (Flow of Fluids)، بموافقة من Crane Co. كلّ الحقوق محفوظة)

مثال 4-2

يتكون تصريف مضخة من 200 قدم من أنبوب حديد صب جديد .12-in، و3 أكواع 90° نصف قطر متوسط، وصمامات بفتحتين، وصمام تدقيق متأرجح واحد. احسب الفقد عبر كامل الخط تحت سرعة 3.0 ft/sec.

الحل

إذا استخدمت الأطوال المكافئة للتوصيلات والصمّامات كما هي معطاة في الجدول 4-1، فإن طول الأنبوب الكلّي المكافئ يساوي:

$$200 + 3 \times 27 + 2 \times 17 + 1 \times 135 = 450 \text{ ft}$$

من المعادلة 4-6، $f = 0.019$

باستخدام المعادلة 4-5

$$h_L = 0.019 \; \frac{450}{1} \times \frac{(3.0)^2}{2 \times 32.2} = 1.2 \text{ ft}$$

مثال 4-3

احسب فقد العلوّ في خطّ أنبوب موضّح في الشكل 4-5 اعتماداً على الآتي: $Z_1 = 4.5$ m، $p_1 = 280$ kPa ، $V_1 = 1.2$ m/sec، $Z_2 = 9.3$ m، $p_2 = 200$ kPa، $V_1 = 1.2$ m/sec.

الحل

بالتعويض في المعادلة

$$4.5 + \frac{280}{9.80} + \frac{(1.2)^2}{19.6} = 9.3 \; \frac{200}{9.80} + \frac{(1.2)^2}{19.6} + h_L$$

$$4.5 + 28.6 + 0.07 = 9.3 + 20.4 + 0.07 + h_L$$

$$h_L = 3.4 \text{ m} = 33 \text{ kPa}$$

4-3 الانسياب في الأنابيب تحت الضغط

إن معادلة دارسي فايسباخ لحساب فقد العلوّ مُرهِقة، ولا تُستخدم على نطاقٍ واسع في تصميم وتقويم المنشآت المائيّة. ويتطلب الأمر الحل القائم على التجربة والخطأ

لتقدير حجم الأنبوب لانسياب وفقد علوّ محدّدين، نظراً إلى أن عامل الاحتكاك يستند إلى الخشونة النسبية والتي تتضمّن نصف قطر الأنبوب. وبسبب نقطة الضعف التطبيقية هذه، غالباً ما تُستخدم المعادلات الأسيّة في حسابات الانسياب.

إن أكثر معادلات الانسياب في الأنابيب شيوعاً في تصميم وتقويم نظام توزيع الماء هي معادلة هازن وليامز (Hazen Williams Formula)، معادلة 4-7:

$$Q = 0.281\ CD^{2.63} S^{0.54} \qquad \textbf{(7-4)}$$

تربط هذه المعادلة كمية انسياب الماء المضطربة عبر مقطع دائريّ ينساب بحيث يملأ كامل قطر الأنبوب، ومعامل احتكاك اعتماداً على خشونة الأنبوب. ويظهر الجدول 4-2 قيم هذه المعاملات لمواد أنابيب مختلفة.

حيث:

Q = كمية الانسياب، gpm

C = معامل، جدول 4-2

D = قطر الأنبوب، in

S = التدرّج الهيدروليكيّ، in/in

إن المخطط البياني في الشكل 4-7 بالوحدات الإنجليزية يحلّ المعادلة لمعامل قدره 100، وهذا يمثّل أنبوباً من الحديد اللدن عمره 15 إلى 20 سنة. فإذا أعطي اثنان من المتحوّلات (التصريف، قطر الأنبوب، فقد العلوّ، أو السرعة) فإن الاثنين الآخرين يمكن تقديرهما من تقاطعات خطّ مستقيم مرسوم عبر المخطط البياني. فمثلاً إن انسياباً قدره 500 gpm في أنبوب قطره 8 in. سيكون له سرعة قدرها 3.2 ft/sec مع فقد علوّ قدره 8.5 ft/1000 ft (0.0085 ft/ft).

يمكن تقدير فقودات العلوّ مع قيم معاملات أكثر من 100، باستخدام عوامل تصحيح مدرجة في الجدول 4-3. فمثلاً إذا كان فقد علوّ لدى C = 100، يساوي ft/1000 ft 8.5، فإن فقد علوّ قدره C = 100 سيساوي 8.5 X 0.62 = 5.3 ft/1000 ft.

ويمكن أيضاً لمعادلة هازن وليامز أن تصاغ لحساب فقد العلوّ مباشرةً بتعويض $S = \frac{h_L}{L}$ وإعادة الترتيب:

$$h_L = 0.002083 \text{ x } L \left(\frac{100}{C}\right)^{1.85} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.8655}} \qquad \textbf{(8-4)}$$

h_L = فقد علوّ، ft

L = طول الأنبوب، ft

C = معامل، جدول 4-2

Q = كمية الانسياب، gpm

D = قطر الأنبوب، .in

جدول 4-2: قيم معامل "C" لصيغة هازن وليامز، المعادلات 4-7 ، 4-8 ، 4-9

مادة الأنبوب	C
اسمنت اسبستوسي	140
حديد صب	
مبطن بالأسمنت	130 إلى 150
حديث، غير مبطن	130
قديم – 5 سنوات، غير مبطن	120
قديم – 20 سنة، غير مبطن	100
خرسانة	130
نحاس	130 إلى 140
بلاستيك	140 إلى 150
فولاذ ملحم حديثاً	120
فولاذ مبرشم حديثاً	110

وسيكون لمعادلة هازن ويليامز، معادلة 4-8، عند صياغتها بالواحدات المترية SI الشكل التالي:

$$Q = 0.278\, C\, D^{2.63} S^{0.54} \quad \text{(بالوحدات المترية SI)} \qquad (9\text{-}4)$$

حيث:

Q = كمية الانسياب m^3/sec

C = معامل، جدول 4−2

D = قطر الأنبوب، m

S = التدرّج الهيدروليكيّ، m/m

ولحساب فقد العلوّ مباشرة بالوحدات المترية:

$$h_L = 0.002131 \text{ x } L \left(\frac{100}{\text{C}}\right)^{1.85} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.8655}} \quad \text{(SI)} \qquad (10\text{-}4)$$

حيث:

h_L = فقد العلوّ، m

L = طول الأنبوب، m

Q = كمية الانسياب m^3/sec

C = معامل، جدول 4-2

D = قطر الأنبوب، m

يحل المخطط البياني في الشكل 4-8 بالواحدات المترية SI معادلة هازن وليامز من أجل معامل C قدره 100، ما يمثّل أنبوباً من الحديد اللدن عمره 15 إلى 20 سنة.فإذا أعطي إثنان من المتحوّلات (التصريف، قطر الأنبوب ، فقد العلوّ، أو السرعة) فإن الاثنين الآخرين يمكن تقديرهما من تقاطعات خطّ مستقيم مرسوم عبر المخطط البياني. فمثلاً إن انسياباً قدره 30 l/s في أنبوب قطره 200 mm سيكون له فقد علوّ قدره 0.0080 m/m وسرعة قدرها 0.95 m/sec.

جدول 4-3: عوامل التصحيح لتقدير فقودات

لدى C = 100 $h_L = K \times h_L$ مصححة			
K	C	K	C
0.71	120	1.51	80
0.62	130	1.00	100
0.54	140	0.84	110

حيث:

h_l = فقد العلوّ، متر

L = طول الأنبوب، m

Q = كمية الانسياب، m^3/sec

C = معامل، جدول 4-2

D = قطر الأنبوب، m

مثال 4-4

تضخ مياه جوفية من بئر حقليّة عبر أنبوب نقل رئيس قطره .in 14 لمسافة ft 10.500 إلى محطّة المعالجة. احسب فقد العلوّ لمعدّل انسياب قدره 1400 gpm بافتراض أن C = 100، و C = 140.

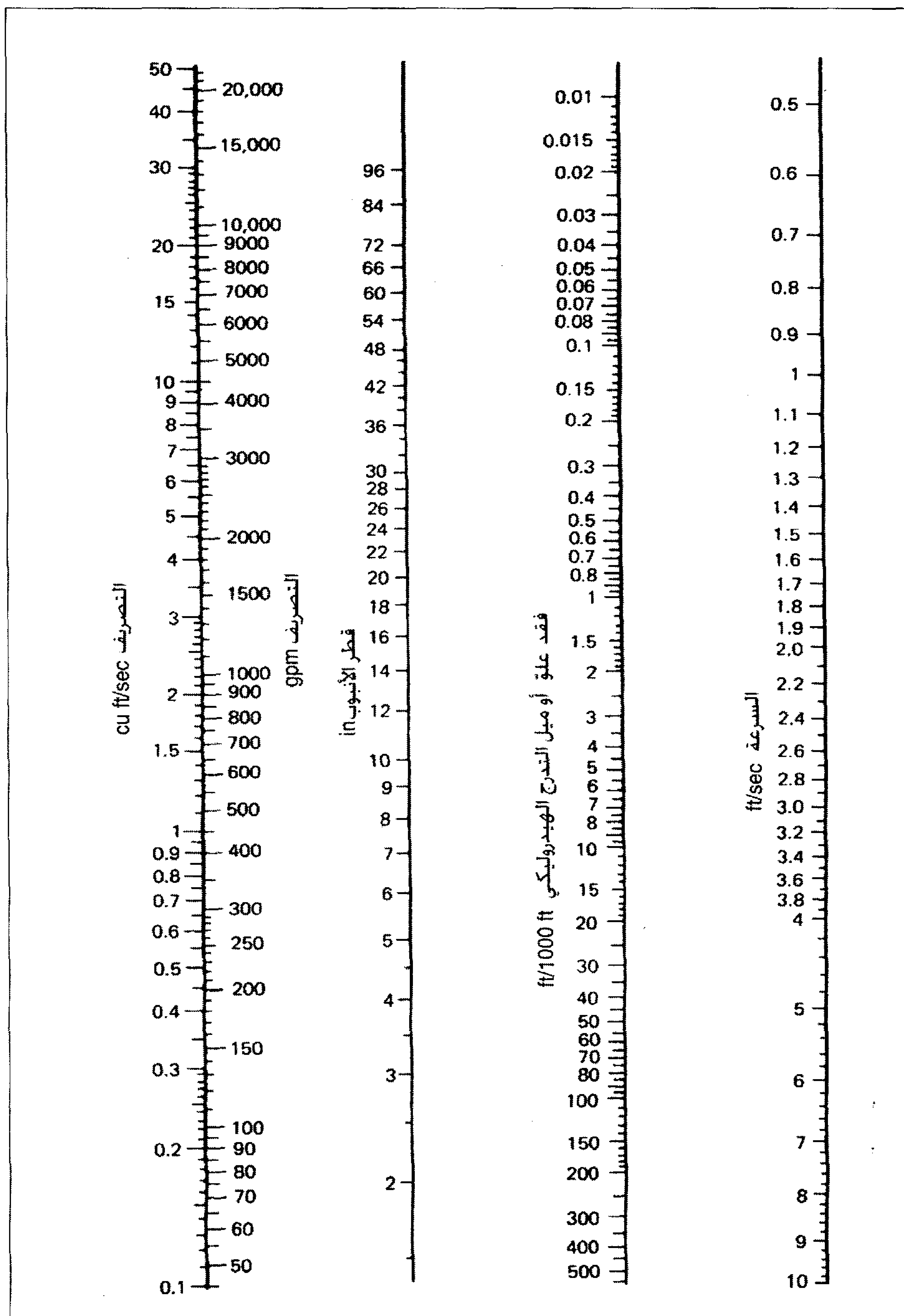
الحل

باستخدام المعادلة 4-8 مع C = 100،

$$h_L = 0.002083 \text{ x } 10500\left(\frac{100}{100}\right)^{1.85} \frac{(1400)^{1.85}}{(14)^{4.8655}} = 38.3 \text{ ft}$$

باستخدام المخطط البياني في الشكل 4-7 من أجل C = 100، ارسم خطاً مستقيماً عبر تصريف 1400 gpm وقطر 14 إنش. ستكون القراءة عند التقاطع مع خطّ فقد العلوّ تساوي 3.6 ft/1000 ft.

$$h_L = 3.6 \text{ x } 10.5 = 38 \text{ ft}$$



شكل 4-7: مخطط بياني بالواحدات الإنجليزية لمعادلة هازن وليامز باعتبار C = 100

باستخدام المعادلة 4-8 مع C = 140،

$$h_L = 0.002083 \text{ x } 10500 \left(\frac{100}{140}\right)^{1.85} \frac{(1400)^{1.85}}{(14)^{4.8655}} = 20.6 \text{ ft}$$

باستخدام قيمة فقد علوّ 3.6 من المخطط البياني وعامل التصحيح من أجل قيمة لـ C تُستمدّ من الجدول 4-3،

$$h_L = 3.6 \times 10.5 \times 0.54 = 20 \text{ ft}$$

مثال 4-5

إذا كان أنبوب مياه رئيس (C = 100) قطره 200 mm يحمل جرياناً قدره l/s 30، ما مقدار سرعة الانسياب وفقد العلو؟

الحل

(أ) باستخدام الشكل 4-8، فإن الخط المستقيم المدد عبر تصريف l/s 30 وقطر 200 mm سيتقاطع مع فاقد العلوّ عند 0.008 m/m.

(ب) $Q = 30 \text{ l/s} = 0.030 \text{ m}^3/\text{sec}$ و $D = 200 \text{ mm} = 0.20 \text{ m}$

إن مساحة مقطع جريان الانسياب = $\pi (0.20/2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$. باستخدام المعادلة 4-1،

$$V \text{ x } 0.0314 \text{ m}^2 = 0.030 \text{ m}^3/\text{sec}$$
$$V = 0.030/0.0314 = 0.955 \text{ m/sec}$$

وبالتعويض في المعادلة 4-9،

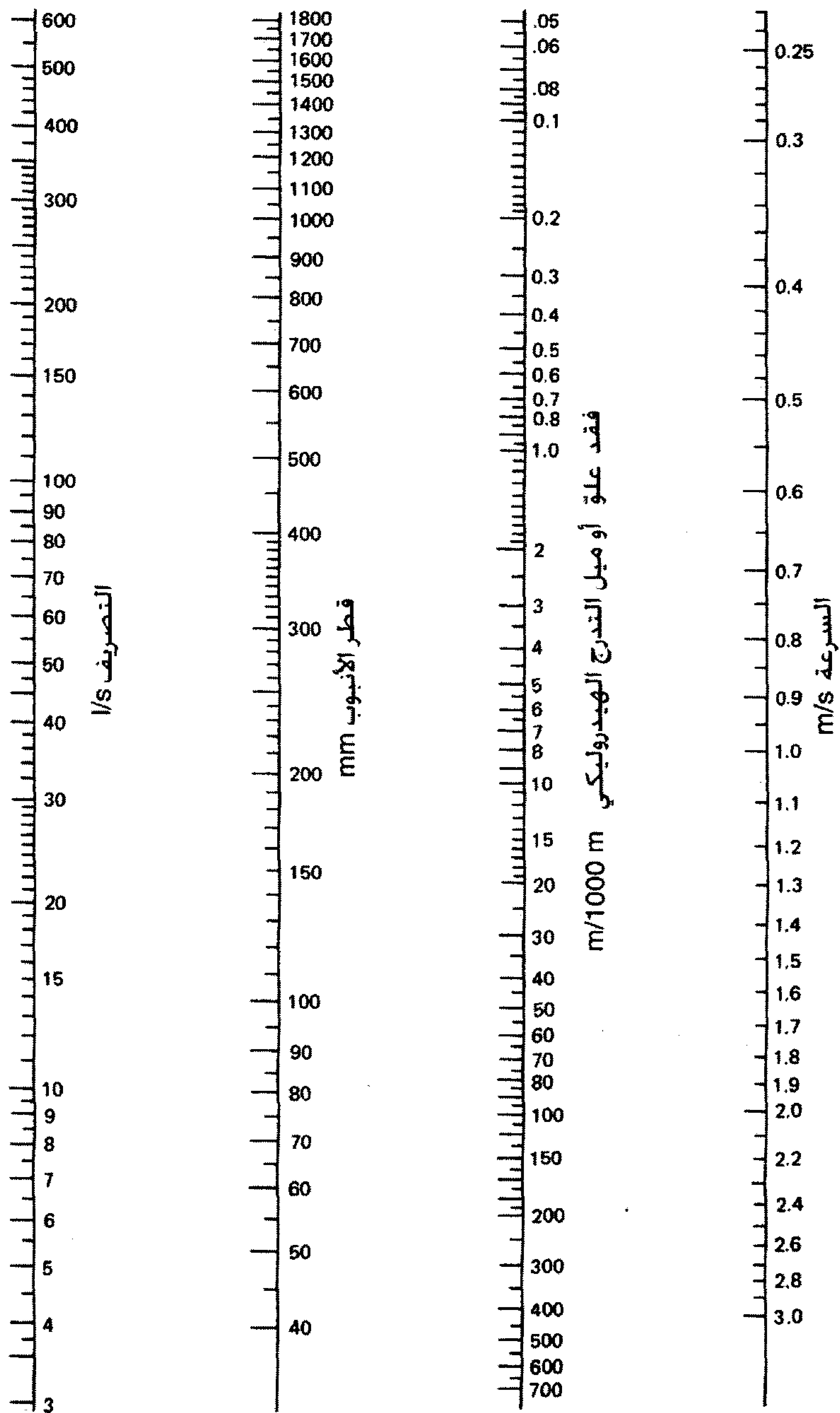
$$0.030 \text{ m}^3/\text{sec} = 0.278 \times 100 (0.20)^{2.63} S^{0.54}$$

$$S^{0.54} = \frac{0.030}{0.403} = \frac{0.030}{0.278 \text{ x } 100 (0.20)^{2.63}} = 0.0744$$

$$S = 0.0744^{1/0.54} = 0.0744^{1.85} = 0.00817 \text{ m/m}$$
$$S = 817 \text{ m}/1000 \text{ m}$$

(ج) وبالتعويض في المعادلة 4-10،

$$\frac{h_L}{L} = 0.002131 \times \left(\frac{100}{100}\right)^{1.85} \frac{(0.030)^{1.85}}{(0.20)^{4.8655}} = 0.00817 \text{ m/m}$$



شكل 4-8: مخطط بياني في الواحدات المترية لمعادلة هازن وليامز بالاعتماد على C = 100

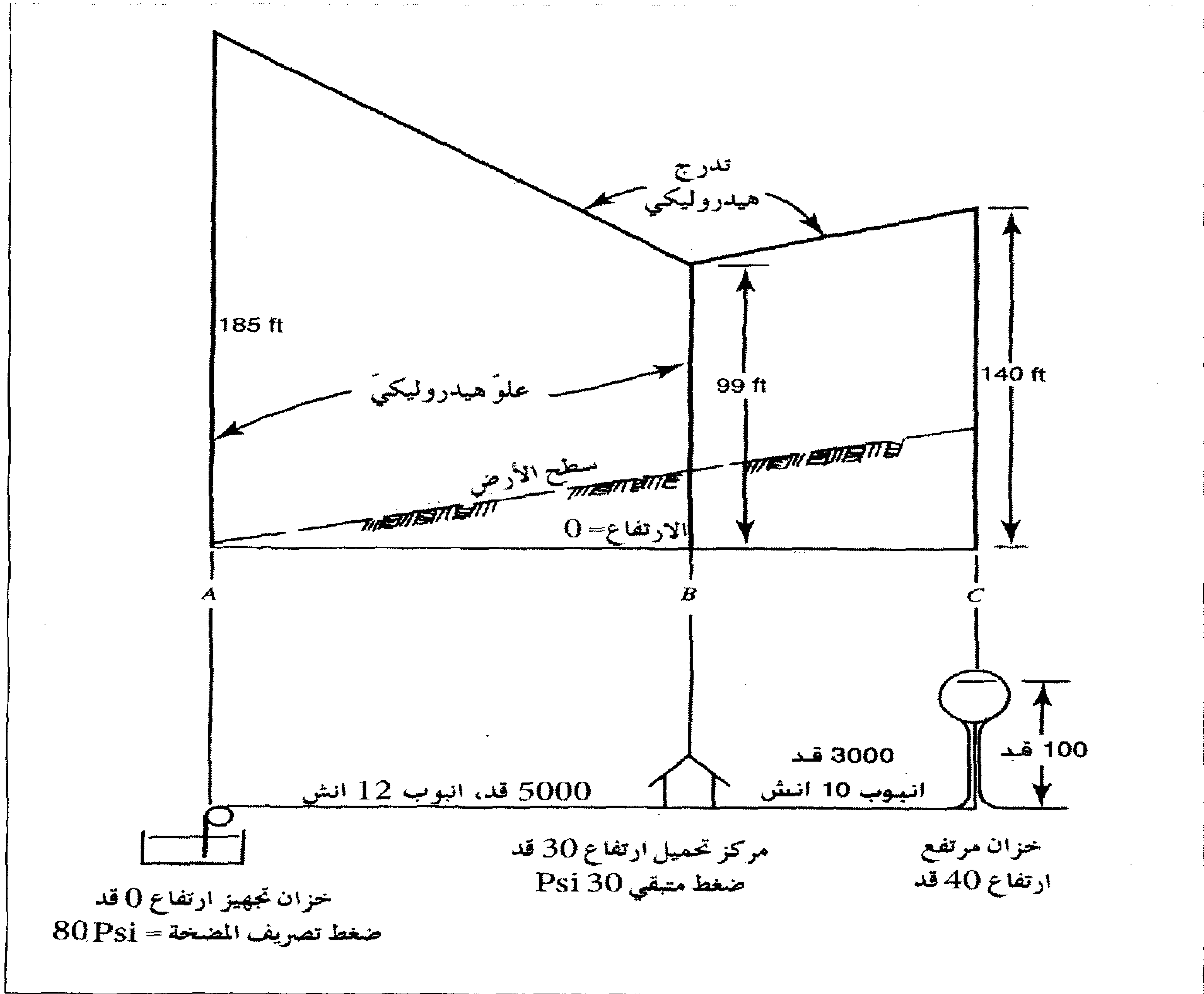
مثال 6-4

يتكون نظام تجهيز بالماء بسيط للغاية من خزانٍ مع مضخات رفع، وتخزين عالٍ، وشبكة أنابيب ومركز تحميل (مركز سحب) موضّح على الشكل 9-4.

(أ) اعتماداً على البيانات التالية، ارسم مخططاً توضيحياً يبين التدرّج الهيدروليكيّ للنظام:

Z_A = 0 ft، P_A = 80 Psi، Z_B = 30 ft، P_B = 30 psi، Z_C = 40 ft، P_C = 100 ft (مستوى الماء في الخزان)

(ب) تحت هذه الشروط، احسب لدى النقطة B الانسياب القادم من كلّ من المضختين ومن الخزّان المرتفع. استخدم C = 100 وحجم الأنابيب كما هو موضّح في المخطط.



شكل 9-4: نظام مياه مبسّط للمثال 6-4

الحل

(أ) العلوّ الهيدروليكيّ لدى النقطة

A = 0 ft + 80 Psi × 2.31 ft/Psi = 185 ft
B = 30 + 30 × 2.31 = 99 ft
C = 40 + 100 = 140 ft

يظهر التدرّج الهيدروليكيّ كخطوط مستقيمة تصل بين العلوّ الهيدروليكيّ التي رسمت كخطوط شاقوليّة.

A و *B* بين h_L = 185 - 99 = 86 ft
h_L /1000 ft = 86 ÷ 5 = 17.2 ft

باستخدام الشكل 4-7، وبمراصفة h_L = 17.2 ft/1000ft ، مع قطر .12 in ستكون قيمة *Q* = 2160 gpm .

h_L = *B* /1000 ft و *A* بين = 13.7 ft $\frac{140-99}{3}$ =
h_L /1000ft (بين B و C) = $\frac{140-99}{3}$ = 13.7 ft

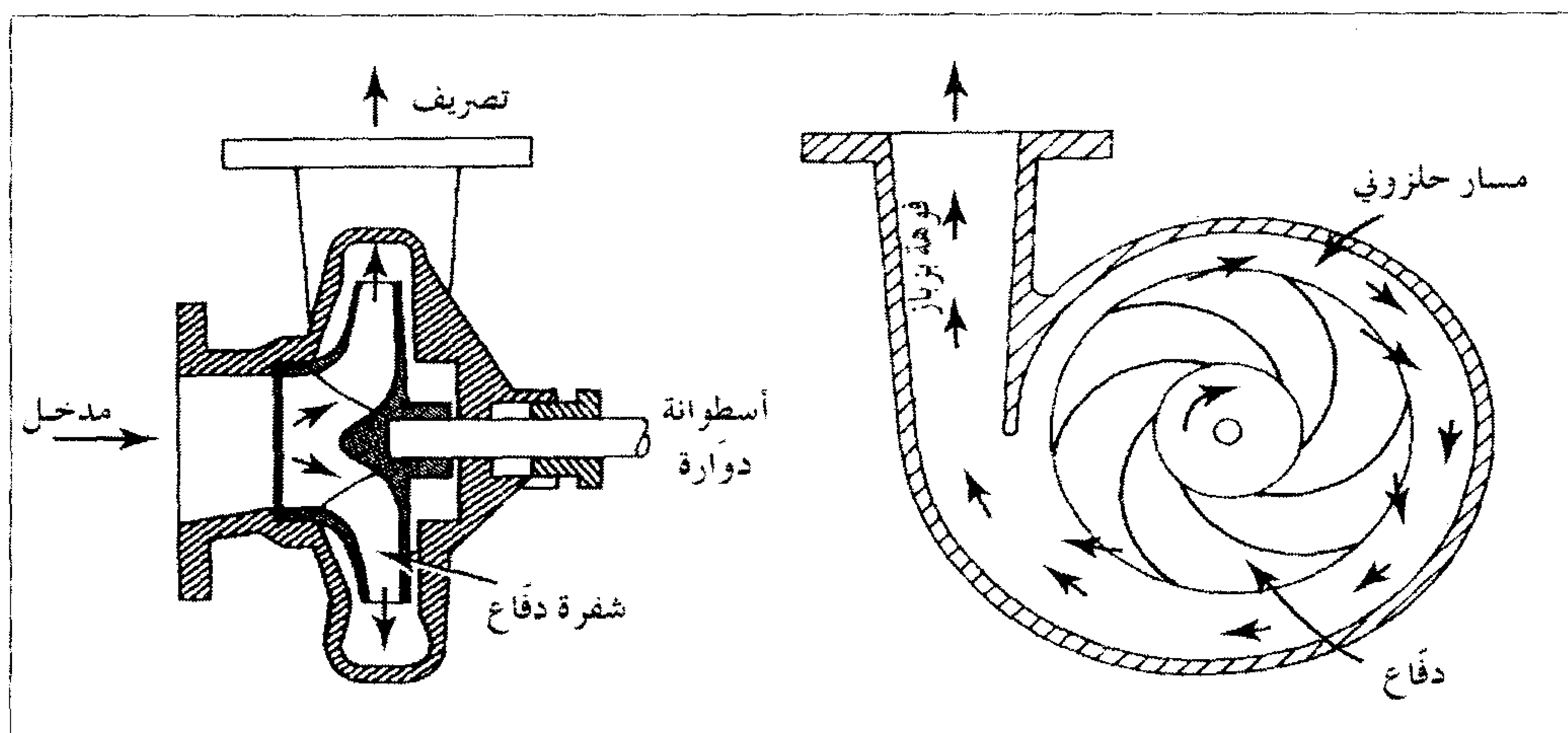
ولأجل h_L = 13.7 ft/1000ft ولأنبوب .10 in ، و*Q* = 1180 gpm، فإن *Q* الكلية المتوفرة عند النقطة *B* = 2160 + 1180 = 3340 gpm.

4-4 خصائص المضخات النابذة

تستخدم المضخات لوظائف متنوعة في أنظمة الماء ومياه الصرف. تُستخدم مضخات الرفع البسيط (Low Lift) لرفع الماء من مصدر ما، أو لرفع مياه الصرف من مجرور إلى محطّة الصرف، بينما تُستخدم مضخات الخدمة العالية (High Service) لتصريف الماء الموجودة تحت الضغط إلى نظام توزيع أو لتصريف مياه الصرف عبر خطّ صرف رئيسي، أما المضخات المعزّزة (Booster Pumps) فتستخدم لزيادة الضغط في نظام توزيع مياه، في حين تُستخدم مضخات إعادة التكرير والنقل (Recirculation and Transfer Pumps) لتحريك الماء قيد المعالجة ضمن محطّة المعالجة، وتستخدم المضخات البئرية (Well Pumps) لرفع

الماء من آبار ضحلة أو عميقة للتجهيز بالماء، ومازال هناك أنماط أخرى من المضخات تُستخدم في الإمداد الكيميائي وفي الاعتيان وفي مكافحة النيران.

تستخدم المضخات النابذة (Centrifugal Pumps) بشكلٍ شائع للخدمة البسيطة والعالية وذلك لرفع ونقل الماء، وتستخدم المضخات الترددية (Reciprocating Pumps) للإزاحة الإيجابية ومضخات التجوّف (Progressive Cavity المتقدم لتحريك الحمأة، بينما تُستخدم المضخات التوربينية الشاقوليّة (Vertical Turbine Pumps) في ضخ الآبار، وتستخدم المضخات النافورية الغازية (Pneumatic Ejector Pumps) في المحطّات الصغيرة لرفع مياه الصرف. أما مضخات الرفع الهوائي (Air Lift Pumps) والمضخات التموجية المتعاقبة (Peristaltic Pumps) والمضخات التوربينية (Turbine Pumps) فتُستخدم في تطبيقاتٍ خاصة. وستقتصر المناقشة في هذه الفقرة على خصائص المضخات النابذة، وسيتم عرض أنماطٍ محدّدة منها وستُناقش بتطبيقاتها في فقرات أخرى في هذا الكتاب.



شكل 4-10: مخططات لمقاطع عرضية تظهر سمات مضخة نابذة

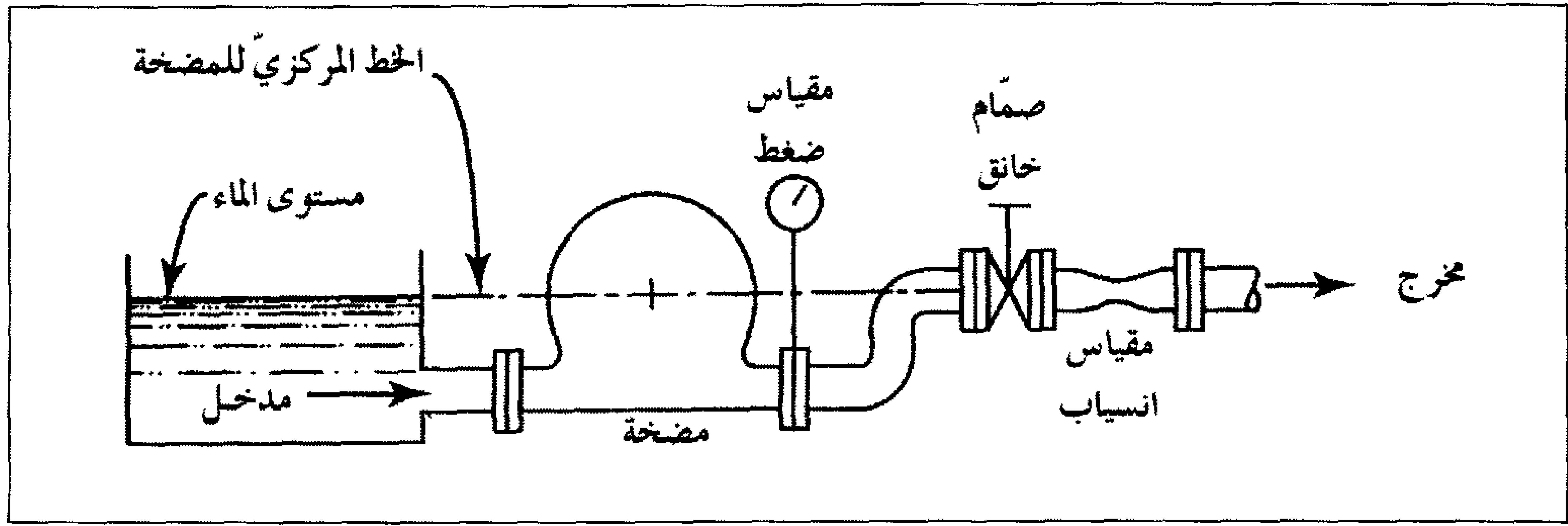
والمضخات النابذة شعبية، نظراً إلى بساطتها وصغرها وكلفتها المنخفضة ولقدرتها على العمل تحت ظروفٍ مختلفةٍ للغاية. إن الأجزاء الأساسية فيها هي عنصرٌ دوّار مزود بشفرات، ودفّاع يُدار بسرعة عالية، وصندوق مغلف. يرمي

الدفّاع (Impeller) الماء في المسار الحلزوني الذي يقوده عبر الفوهة إلى شبكة أنابيب الصرف.

وتعتمد طريقة العمل هذه جزئياً على القوة النابذة، وهي التي أعطت المضخة اسمها. ويهدف عمل ممرات المضخة إلى تكوين ضغط ماء وذلك عبر تحويل كفؤ لطاقة حركية. ويستخدم عادةً دفّاع مغلق لضخّ الماء للوصول إلى كفاءة عالية. بينما تُستخدم وحدة دفّاع مفتوحة في مياه الصرف الحاوية على مواد صلبة. وقد يكون شكل الصندوق حلزونياً، أو قد يزوّد بشفرات ناشرة. وتتضمن تغييرات متعدّدة في التصميم الصندوق وتعديلات في الشفرات لتوفير طيف واسع من المضخات ذوات سمات تشغيلية خاصّة.

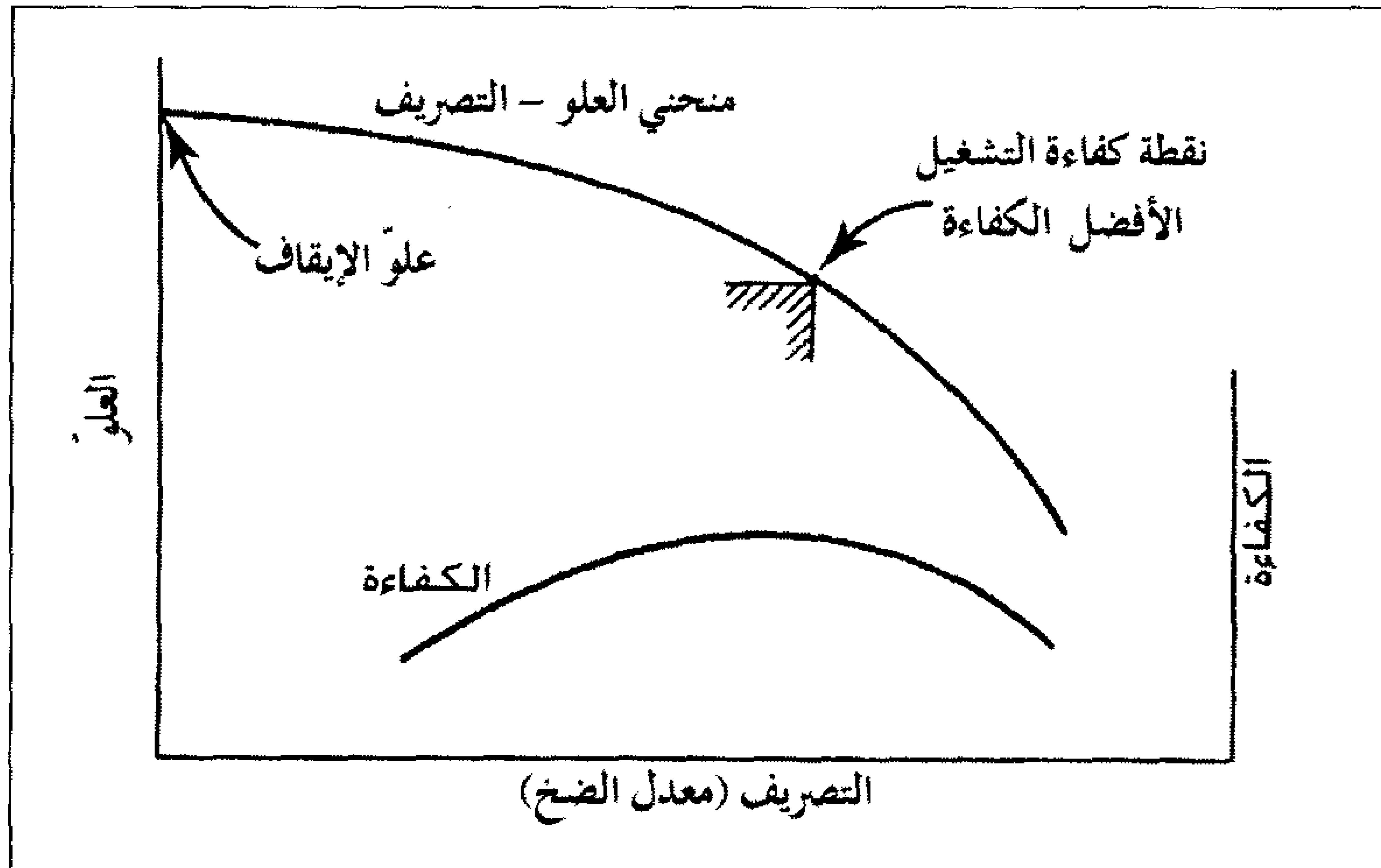
منحني العلوّ- التصريف للمضخة

يُحدّد العلوّ الذي تنتجه مضخة محدّدة ذات معدّلات تصريف مختلفة لدى سرعة دفّاعٍ ثابتة، عبر اختبارات المضخة المنجزة من قبل الصانع. والعلوّ المعطى هو ضغط التصريف بحيث يكون المستوى السكوني للمياه عند مدخل المضخة على سويّة الخط المركزيّ نفسه للمضخّة، مع استبعاد الفقودات في أنابيب السحب والتصريف. وتبين دراسة ترتيبات الاختبار الموضّح رسماً في الشكل 4-11، أنه يتمّ التحكّم بالتصريف بواسطة صمّام خانق، ويُقاس ضغط التصريف عبر مقياس ضغط، ويُسجّل معدّل التصريف عبر مقياس انسياب، وبشكل متزامنٍ، يتمّ قياس الطاقة الداخلة وتقدير الكفاءة. وعندما يكون الصمّام في أنبوب التصريف مغلقاً يتسبّب دوران الدفّاع بخضّ الماء بعنفٍ، ما يرفع الضغط عند مخرج المضخة إلى قيمة يُشار إليها بعلو الإيقاف.



شكل 4-11: مخطط بياني لاختبار مضخة علوّ – تصريف

ومع فتح الصمّام تدريجياً، وبانسياب الماء بشكلٍ متزايد يتناقص علوّ المضخة كما هو موضّح في الشكل 4-12. ترتفع كفاءة المضخة مع معدّل للتصريف متزايد حتى تصل إلى قيمة قصوى ومن ثم تتناقص. ويُقدّر معدّل الجريان لدى الكفاءة القصوى عبر تصميم المضخة والسرعة الدورانية للشفرات.



شكل 4-12: خصائص منحنيات مضخة نابذة تعمل بسرعةٍ ثابتة

تصمّم مضخة نابذة لتعمل قريباً من نقطة كفاءة التشغيل الأفضل. تكون الحمولات الشعاعية على كرات التحميل (الرولمانات) (Bearings) في الحدّ الأدنى عند عمل الدفّاع تحت حمولةٍ متوازنة عند النقطة المذكورة. وعندما يتجاوز تصريف المضخة التشغيل الأقصى الأمثل، تزداد الحمولات الشعاعية ويغدو التكهّف مشكلةً

محتملة. يحدث التكهّف عندما تتشكّل فقاعات أبخرة عن مدخل المضخة وتنتقل إلى منطقة ضغط مرتفع حيث تنهار بشكلٍ مفاجئ. توجِد قوة الماء المحيط الذي يندفع ليملأ الفراغ فعلاً مطرقياً وجهوداً محلية عالية يمكنها حفر دفّاع المضخة. وعند تناقص معدّل تصريف المضخة حتى الوصول إلى علوّ الإيقاف فإن إعادة دوران الماء ضمن الصندوق يمكنّه التسبب باهتزاز المضخة وبفقودٍ هيدروليكية. ولهذه الأسباب فإن تشغيل المضخة عند معدّل تصريف يقع ضمن المجال بين 60 و120% لــ نقطة التشغيل الأفضل (Best Efficient Point, BEP) يعتبر تطبيقاً جيداً.

خصائص المضخّات

يمكن عادةً تجهيز مضخة ما بدفّاعات ذوات أقطار مختلفة تقع ضمن مجالٍ محدّد، بما يتناسب مع كلّ حجمٍ من أحجام صندوق المضخّة. وحيث إن تصريف المضخة يتغير بتغير قطر الدفّاع وسعة التشغيل، تقوم الشركة المصنعة بطباعة بيانات تظهر خصائص منحنيات الدفّاعات ذوات الأقطار المختلفة وذلك عند تشغيلها بسرعتين أو أكثر. فمن أجل قطر محدّد لدفّاع يعمل بسرعاتٍ مختلفة، يتناسب التصريف طرداً مع السرعة (المعادلة 4-11)، ويكون العلوّ متناسباً طرداً مع مربع السرعة (المعادلة 4-12)، وسيتغير دخل الطاقة مع مكعب السرعة (المعادلة 4-13).

$$Q_1 / Q_2 = N_1 / N_2 \qquad \textbf{(11-4)}$$

$$H_1 / H_2 = N_1^2 / N_2^2 \qquad \textbf{(12-4)}$$

$$Pi_1 / Pi_2 = N_1^3 / N_2^3 \qquad \textbf{(13-4)}$$

حيث:

Q = التصريف، gpm (l/s)

H = العلوّ، ft (m)

P_i = دخل الطاقة (hp) (kw)

ومن أجل مضخة تعمل بنفس السرعة، فإن تغيّر قطر الدفّاع سيؤثر على التصريف، والعلوّ، ودخل الطاقة تقريباً وفقاً لما يلي:

$$Q_1 / Q_2 = D_1 / D_2 \quad (14\text{-}4)$$
$$H_1 / H_2 = D_1^2 / D_2^2 \quad (15\text{-}4)$$
$$Pi_1 / Pi_2 = D_1^3 / D_2^3 \quad (16\text{-}4)$$

حيث:

D = قطر الدفّاع، .in أو cm

H = العلوّ، ft (m)

P_i = دخل الطاقة (hp) (kw)

الطاقة والكفاءة

إن دخل الطاقة هو دخل المحرّك المطبق على المضخّة. أما خرج الطاقة فهو العمل المنجز في واحدة الزمن الذي يرفع الماء إلى ارتفاع أعلى. وكفاءة مضخة ما هي نسبة خرج الطاقة إلى دخل الطاقة المقاس.

$$E_p = P_o / P_i \quad (17\text{-}4)$$

حيث

E_p = كفاءة المضخ، بلا وحدة

P_i = دخل طاقة المحرّك (brake hp)، (hp)، (kw)

P_o = خرج الطاقة، (hp)، (kw)، (kw . m/sec)

وتكون كفاءة المضخة عادةً في مجال يتراوح بين 0.60 و0.85 (60 إلى 85%)

تربط المعادلة الآتية بين تصريف مضخة إلى طاقة دخل المحرّك E_p

$$P_i = \frac{wQH}{(550\times 60)E_p} = \frac{QH}{3960\, E_p} \qquad \textbf{(18-4)}$$

حيث

P_i = دخل طاقة المحرك، (hp)

Q = التصريف، gpm

H = العلوّ، ft

W = واحدة ثقل الماء = 8.34 lb/gal

E_p = كفاءة المضخّة، بلا وحدة

550 = ft lb/sec per hp

60 = sec/min

3960 = 8.34/60 x 550

و بالواحدات المترية

$$P_i = \frac{wQH}{E_p} = \frac{0.0098QH}{E_p} \qquad \textbf{(19-4)}$$

بالواحدات المترية

حيث

P_i = دخل طاقة المحرك، kw

Q = التصريف، l/s

H = العلوّ، m

W = واحدة ثقل الماء = 0.0098 KN/l

مثال (7-4)

يظهر المخطط التالي خصائص مضخة نابذة تعمل بسرعتين. ارسم منحنياتها وصِلْ بين (bep) بخطٍ متقطع. احسب قيم العلو - التصريف لسرعة تشغيل (rpm) 1450، وارسم المنحني. وأخيراً وضّح بالرسم مغلق التشغيل مابين 60 و 120% لـ (bep).

السرعة = 1150 (rpm)			السرعة = 1750 (rpm)		
الكفاءة (%)	العلوّ (ft)	التصريف (gpm)	الكفاءة (%)	العلوّ (ft)	التصريف (gpm)
	96	0		220	0
65	93	1000	63	216	1500
77	89	1500	81	203	2500
83	82	2000	85	192	3000
84[a]	77	2200	86[a]	182	3300
83	70	2500	85	176	3500
71	49	3000	72	120	4500

(bep) = نقطة التشغيل الأفضل

الحل

رسمت المنحنيات المميزة لكل من 1750 و1150 (rpm) مع قيم الكفاءة مُدرجة عند النقاط المرسومة وقد وُصلت نقاط أفضل كفاءةٍ بخطٍ متقطع.

حُسبت قيم العلو – التصريف لسرعة تشغيل قدرها (rpm) 1450 باستخدام المعادلة 4-11 و4-12. فمثلاً باستخدام البيانات (gpm) 1500 و216 ft و(rpm) 1750، ويتم حساب نقطة مرسومة كالتالي:

$$Q_2 = Q_1 \frac{N_2}{N_1} = 1500 \frac{1450}{1750} = 1240 \ (\text{gpm})$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 216 \left(\frac{1450}{1750}\right)^2 = 148 \text{ ft}$$

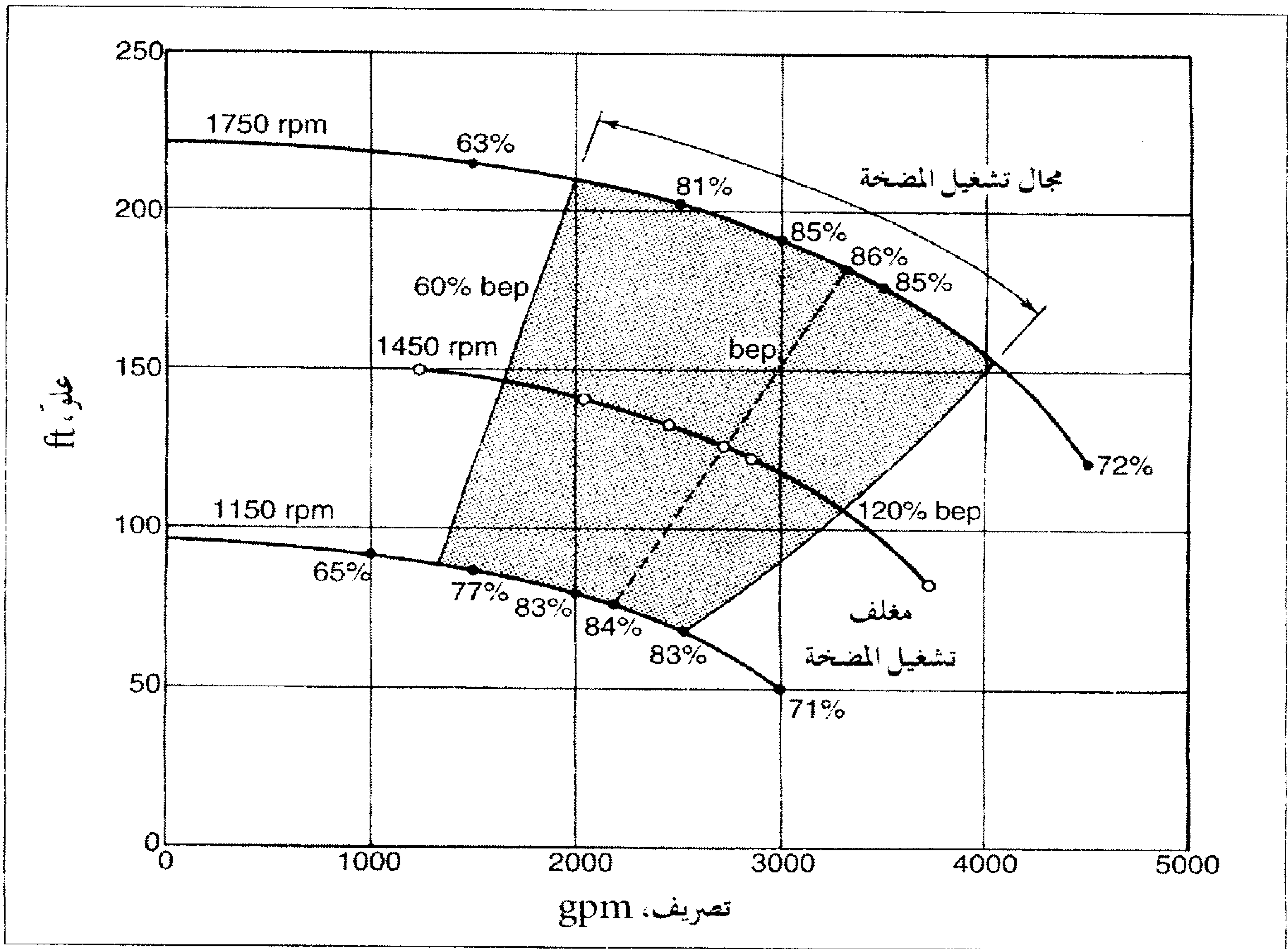
كل القيم التي حسبت من البيانات لدى (rpm) 1750 كانت كالتالي: (gpm) 1240 لدى 148 ft، (gpm) 2040 لدى (bep) 140، (gpm) 2450 لدى (bep) 132،

(gpm) 2730 لدى (bep) 125، (gpm) 2860 لدى (bep) 121، و(gpm) 3730 لدى (bep) 82.

حسبت حدود مغلف التشغيل لدى (rpm) 1750 كـ 60 و120% من التصريف لدى (bep) عند (gpm) 3300.

0.60 x 3300 = 2000 (gpm)
1.20 x 3300 = 4000 (gpm)

لدى (rpm) 1150 في (bep) قدرها 2200 (gpm) ستكون الحدود 1300 و 2600 gpm. يبدو مغلف تشغيل المضخة في الشكل 4-13 مظللاً.



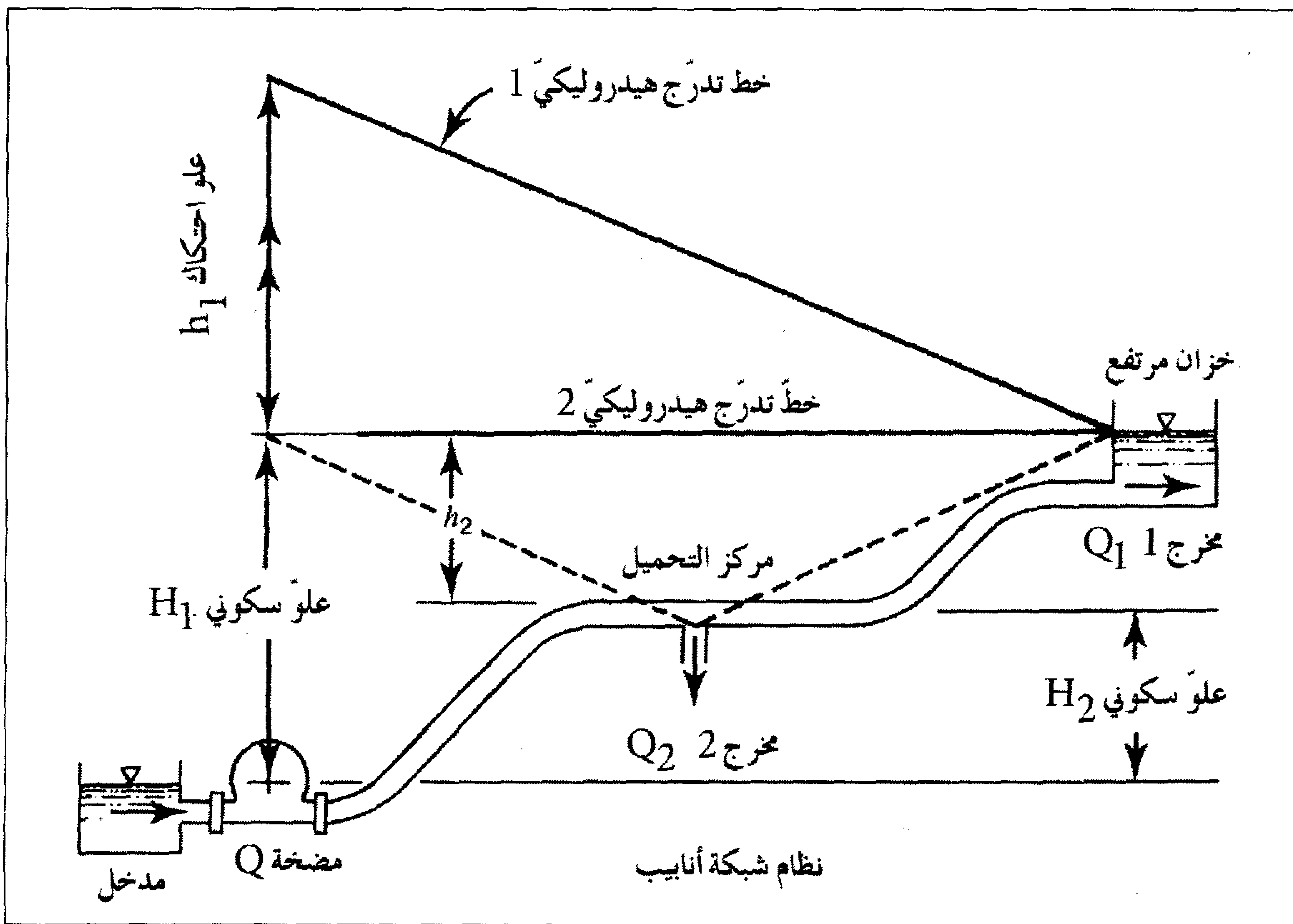
شكل 4-13: منحنيات مضخة مميزة للمثال 4-7 تظهر مغلف تشغيل المضخة

4-5 خصائص النظام

عندما ترفع مضخة نابذة الماء من الخزّان إلى نظام شبكة أنابيب، فإن مقاومة الجريان لدى معدّلات تصريف مختلفة ستكون موصوفة بمنحني علوّ النظام.

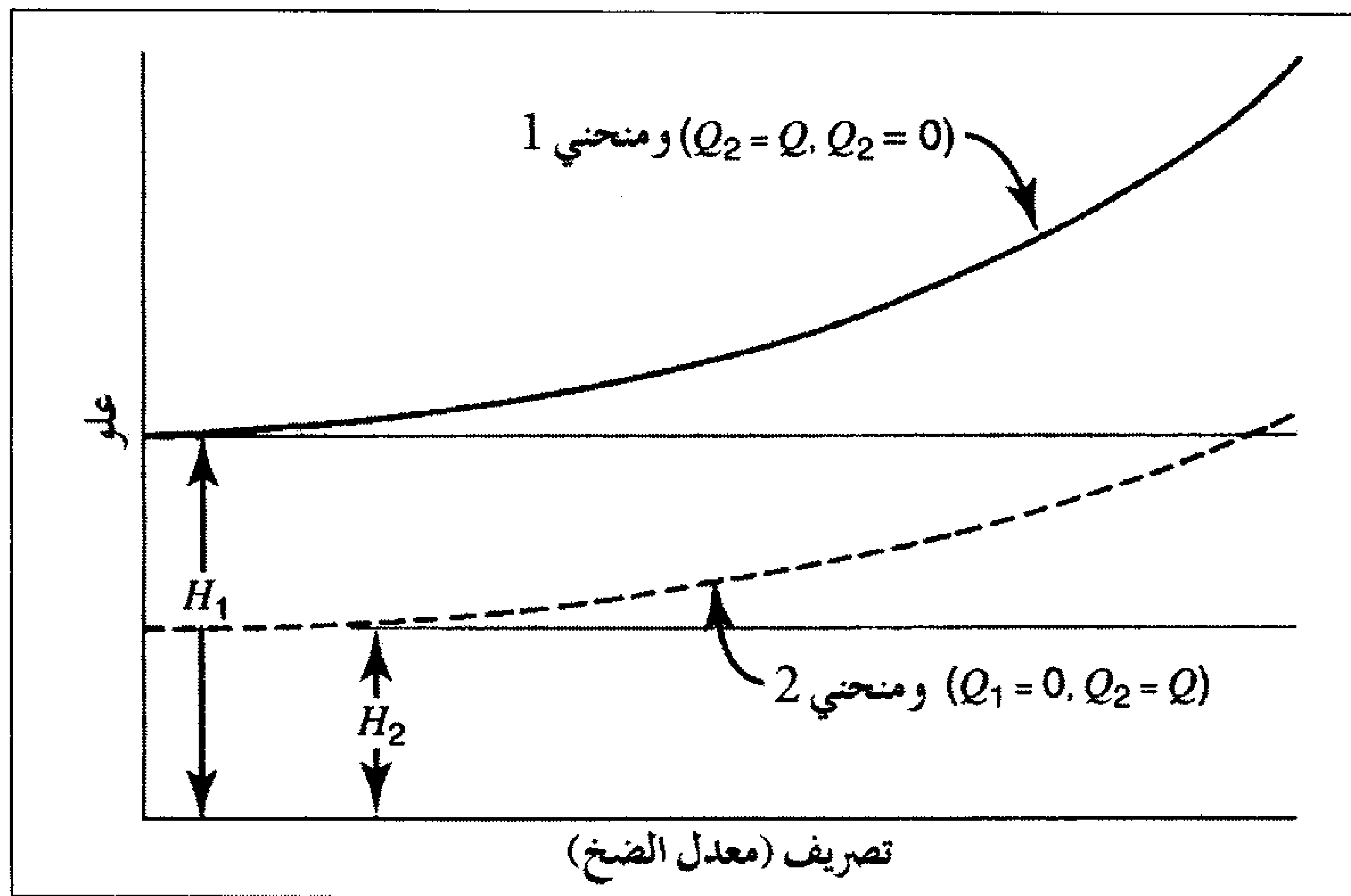
إن المكوّنين الرئيسين للتصريف هما علوّ السكون والذي هو فرق الارتفاع بين مستويي الماء في خزان السحب وخزان التصريف أو نقطة التصريف، وفقد علوّ الاحتكاك والذي يزداد مع زيادة معدّل الضخ.

وبدراسة نظامٍ مائيٍّ بسيط كذاك الموضّح في الشكل 4-14، يُلاحظ أنه يتمّ ضخّ الماء عبر أنبوب لتصريفه إما في خزان مرتفع (مخرج 1) أو لدى مركز التحميل (مخرج 2) أو في كليهما. إن خطّ التدرّج الهيدروليكيّ 1 هو لكامل جريان المضخة Q حيث يصبّ في خزانٍ مرتفع لدى المخرج 1. إن خطّ التدرّج الهيدروليكيّ 2 هو لكامل جريان المضخة حيث يصبّ في المخرج 2. تحت ظروف خطّ التدرّج 2، ينساب الماء أيضاً خارجاً من الخزّان المرتفع ليُصرَف في المخرج 2.



شكل 4-14: مخطط لنظام تجهيز بالماء مبسّط يتكون من أنبوبٍ ، مضخة رفع، خزان مرتفع، ومخرج سحب عند مركز التحميل. خطوط التدرّج الهيدروليكيّ هي 1 للتصريف عند المخرج 1 فقط، و 2 للتصريف عند المخرج 2 فقط

ويظهر الشكل 4-15 منحنيات علوّ – تصريف هذه التدرجات الهيدروليكيّة. المنحني 1 لانسياب المضخة الداخل إلى الخزّان المرتفع، أما المنحني 2 فهو لانسياب المضخة المصرف لدى المخرج 2 المتمثل بمركز التحميّل. يمكن لنقطة التشغيل العلو – التصريف أن تقع في أيّ مكان بين هذين المنحنيين وذلك تبعاً لكمية الماء التي يتمّ تصريفها في كلّ من المخرجين 1 و2. وفي حالة التعامل مع شبكة توزيع مياه حقيقية، يكون منحني علوّ النظام فعلياً نطاقاً منحنياً يغلّف سلسلة من المنحنيات المستقلّة لظروفٍ مختلفة في الضخّ والتخزين والسحب.



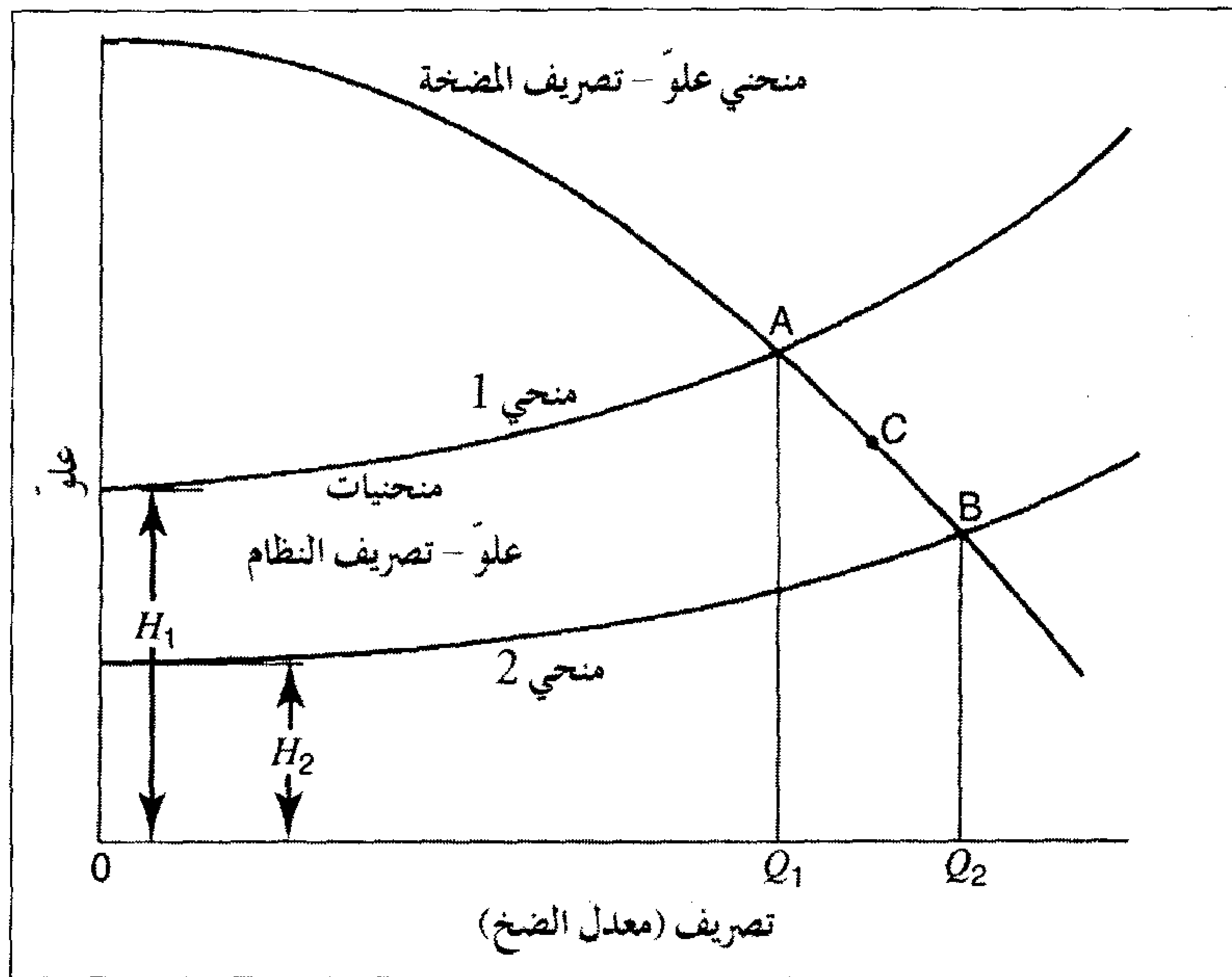
شكل 4-15: منحنيات علوّ–تصريف النظام للنظام المائي المبسط الموضّح في الشكل 4-14. المنحني 1 للتصريف عند المخرج 1 فقط، و2 للتصريف عند المخرج 2 فقط

مضخات السرعة الثابتة

يتوجب وجود استمرارية لمعدّل الجريان وضغط الماء عند الحدود بين المضخة ونظام شبكة الأنابيب. وبالتالي فلكون المضخة ثابتة السرعة، تعمل عند نقطة العلو – التصريف فستكون محدّدة بتقاطع منحني علوّ – تصريف المضخة ومنحني علوّ – تصريف النظام. ويوضح الشكل 4-16 بيانياً المنحنيين 1 و2 من الشكل 4-15 لمنحني علوّ – تصريف مضخة ثابتة السرعة. وعندما ينساب كامل

التصريف إلى الخزّان المرتفع، يكون تشغيل المحطّة عند النقطة التي يرمز لها بـ A. فإذا سُمح للتصريف الحرّ فقط لينساب من نظام شبكة الأنابيب عند المخرج 2، فإن المحطّة ستشتغل عند النقطة B على منحنيات علوّ التصريف.

إن كمية التصريف Q_2 ، أكبر من Q_1 ، نظراً إلى أن علوّ التشغيل (علو السكون مضاف إليه فقد علوّ الاحتكاك) عند B تحت ظروف 2، أقلّ من علوّ التشغيل في A تحت ظروف 1.



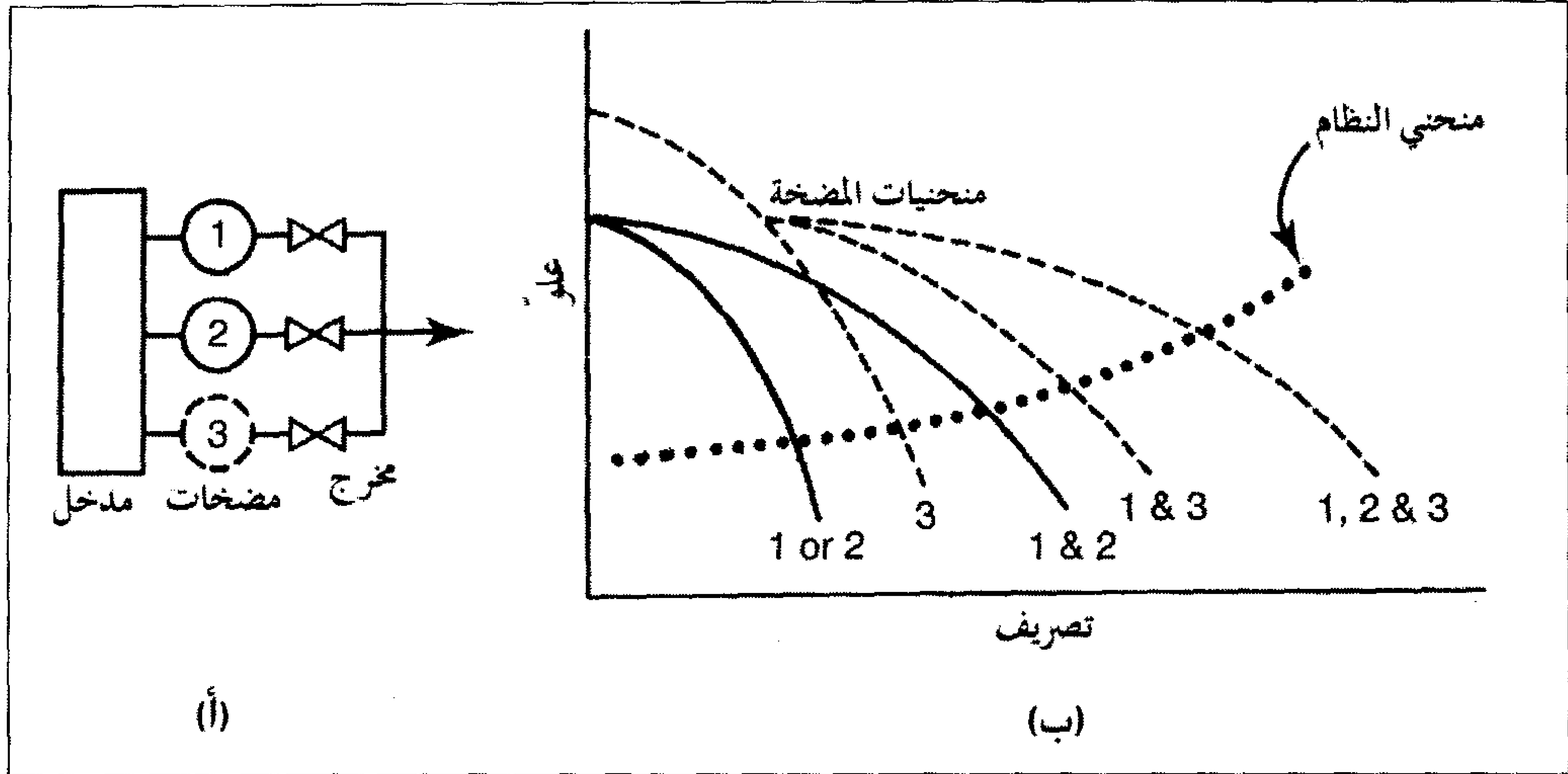
شكل 4-16: منحنيات علوّ–تصريف لمضخة ثابتة السرعة رُسم مع منحنيات علوّ – تصريف النظام لتوضيح نقاط تشغيل المضخّة. والمخطط الهيدروليكيّ ذو الصلة مبين في الشكل 4-14، بينما رُسمت منحنيات علوّ–تصريف النظام من الشكل 4-15

وبالبدء من ظروف خطّ التدرّج الهيدروليكيّ 2، لاحظ اختناق التصريف عند المخرج 2. والنتيجة هي ارتفاع كلّ من خطّ التدرّج الهيدروليكيّ ومنحني علوّ – تصريف النظام، بحيث إن نقطة التشغيل الجديدة على امتداد منحني علوّ – تصريف

المضخة تقع في نقطة ما تقع بين A وB، هي النقطة C. تعمل مضخة نابذة ثابتة السرعة دائماً عند نقطة تقع على امتداد منحني علوّ – تصريف المضخّة، وينبغي أن يتقاطع معه منحني علوّ–تصريف النظام عند نقطة التشغيل هذه.

قد تُستخدم مضخات ذوات سرعتين ثابتتين لهما طاقة الإنتاج نفسها في محطات ضخّ أنظمة ماء صغيرة، فمثلاً يمكن للماء أن يضخ مباشرة إلى خزان مرتفع يقوم بدوره بتغذية شبكة التوزيع. تعمل المضخة بشكلٍ متقطع ويتحكم بتشغيلها تأرجح منسوب الماء في الخزان، ويحافظ الخزّان المرتفع على وجود ضغط في نظام التوزيع بشكلٍ مستقل عن عمل المضخّة. وفي الأنظمة الأكبر فإن تركيب ثلاث مضخات على الأقلّ أمرٌ مرغوب فيه لتغطية أقصى الاحتياجات المائيّة إضافة إلى توفير محطّة بديلة جاهزة للعمل في حال خروج إحدى الوحدات من الخدمة. ونظراً إلى كون الأنظمة الكبيرة ذات احتياج مائي مستمر، فإن مضخّاتها تصرف مباشرة في شبكة أنابيب التوزيع مباشرة وتكون الخزّانات المرتفعة موصولة بهذه الشبكة.

يظهر الشكل 4-17 مخططاً لتشغيل موازٍ لمضخات ثابتة السرعة. المضختان 1 و2 وحدتان متطابقتان، المضخة 3 ذات طاقةٍ أكبر وعلوّ إيقاف أكبر، تتضمّن منحنيات علوّ – تصريف فقودات الاحتكاك في أنابيب شبكات السحب والتصريف. تعمل المضخات بشكلٍ مستقل أو بشكلٍ مشترك لتلبية الاحتياج المائي وذلك بتصريف الماء في الأنبوب الرئيس المشترك وفي أنبوب المخرج. وعندما تعمل مضختان أو أكثر بشكلٍ متزامن، فإنّه يتمّ تقدير منحني العلو – التصريف المشترك بإضافة معدّلات التصريف لدى العلوّ نفسه لمنحنيات العلو – التصريف المستقلة. تعطي نقطة تقاطع منحنيات العلو – التصريف المشتركة مع منحني علوّ – تصريف النظام، المعدل المشترك لتصريف المضخات ولعلوّ تشغيلها.



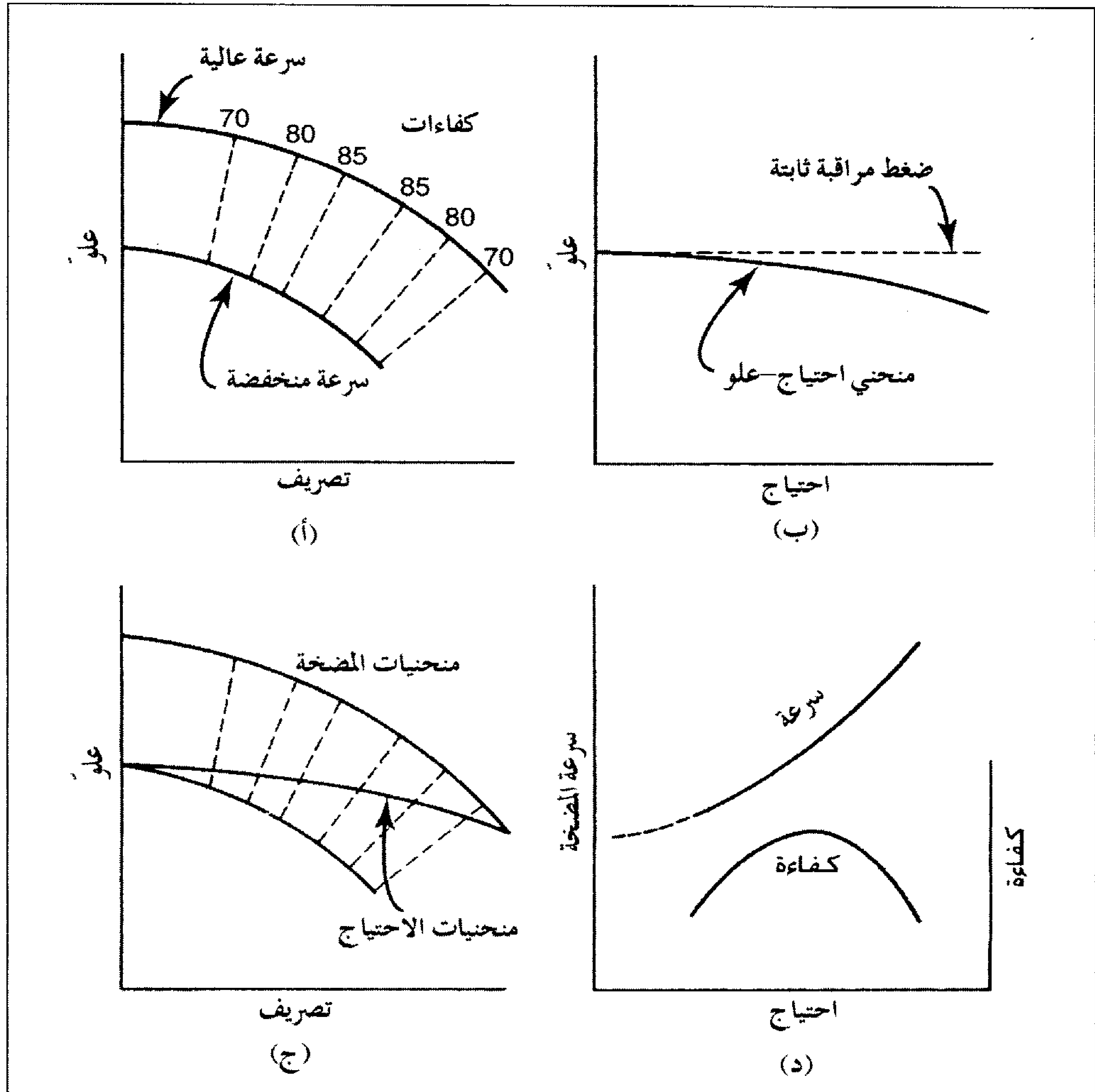
شكل 4-17: منحنيات العلوّ – التصريف لمضخات متعدّدة تعمل على التوازي. (أ) ترتيب تركيب متوازي. المضختان 1 و2 لهما الحجم نفسه. المضخة 3 أكبر. (ب) منحنيات العلو – التصريف لمضخات متعدّدة تعمل بشكلٍ مستقل وبتجمّعات مختلفة، ومنحني علوّ –تصريف النظام يبدو بخط متقطع

مضخات متغيرة السرعات

إن أفضل طريقة للحفاظ على ضغط تصريف ثابت لمضخة ما، عبر طيف واسع لمعدلات الانسياب هي تغيير السرعات الدورانية لشفرات المضخة. وبالرغم من أنه يمكن ضبط تصريف مضخة تعمل بسرعةٍ ثابتة باستخدام صمّام خانق مركب على مخرج المضخة، إلا أن كبح التصريف قد يؤدي إلى إعادة دوران الماء في صندوق المضخة ما يقلل من كفاءتها ولربما يتلف كرات تحميل (رولمانات) المضخة وشفراتها. ويتم التوصل إلى التحكّم بسرعةٍ المضخة النابذة باستخدام محرّك كهربائيّ مصممّ بحيث يكون مدير تغيير السرعة تدرجياً لا مرحلياً.

يظهر الشكل (4-18أ) منحنيات العلو – التصريف (Head-discharge Curves) لمضخة تعمل بسرعتي شفرات مختلفتين، وقد رسمت خطوط تساوي الكفاءة بينها. وفعلياً، يمكن للمضخة أن تعمل لدى عددٍ لا محدود من منحنيات تقع بين السرعتين

الدنيا والقصوى. ينحني منحني الاحتياج – العلوّ، وهو العلوّ المطلوب والمُحسّن بواسطة المضخة مقابل احتياج الانسياب من قبل النظام، نحو الأسفل اعتباراً من قيمة ضغط نظرية مُتحكّم بثباتها، كما هو موضّح في الشكل (4-18ب).



شكل 4-18: منحنيات نموذجية لمضخات متغير السرعة. (أ) منحنيات علوّ –تصريف بقيم كفاءة لمضخة تعمل بسرعتي دفّاع مختلفتين. (ب) منحني احتياج – علو النظام لتصريف ضغط مصحح من أجل تشغيل بواسطة محوّلات طاقة. (ج) منحنيات علوّ – تصريف واحتياج المضخة متراكبة. (د) منحنيات سرعة

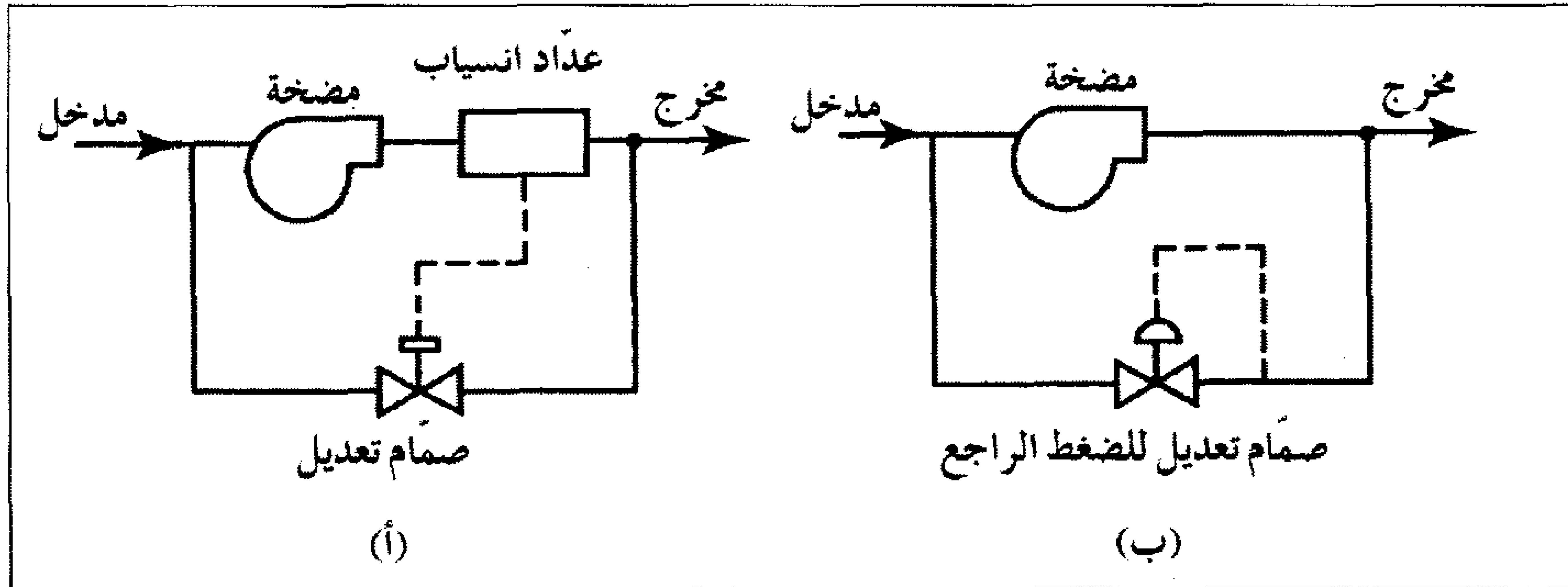
تزداد سرعة المضخة عندما يتناقص ضغط تصريف المضخة نتيجة للاحتياج المتزايد، وتتناقص بتزايد ضغط التصريف. يقوم محوّل الطاقة في مدير السرعات

المتغيرة بنقل الإشارة من مفتاح الضغط إلى محرّك مدير السرعات. ولتجنب الدوران بين مستشعرات الضغط يضبط عادةً مفتاح خفض الضغط بحيث يعمل عندما يصبح الضغط أعلى بقليل من قيمة الضغط التي يعمل عندها مفتاح رفع الضغط. يتسبّب هذا المجال لمحوّل الطاقة بوجود خرج ضغط عند التصريف الأقصى للمضخة (الاحتياج الأقصى) أقلّ بمقدار 10% من خرج الضغط مقابل تصريف قدره صفر. يمكن تخفيض مقدار الفترة الزمنيّة لمحوّل الطاقة وانخفاض منحني الاحتياج – العلوّ إلى الصفر بواسطة نظام ضبط مضخة معقدة. والتي تتضمّن أيضاً دارة كهربائيّة لكشف الأخطاء وتصحيحها، غير أن هذه الميزة ليست ضرورية عادةً ولا تتوفّر في كثير من تطبيقات ضخ الماء. رسمت منحنيات علوّ – تصريف ومنحنيات احتياج – علوّ (Deaman-head Curve)، سويّة في (الشكل 4-18 ج). يمكن استخدام قيم تقاطعات منحني احتياج – علوّ مع خطوط السرعة والكفاءة وذلك بهدف تحميل السرعة والكفاءة مقابل الاحتياج.

ينبغي منع مدير السرعات المتغيرة من تشغيل المضخة بسرعات منخفضة للغاية. وعندما يكون الاحتياج للتصريف الأصغري المطلوب فإنه يتم إعادة دوران الماء ضمن المضخة لحمايتها من التلف. إن الحدّ الأصغري الموصى به لمعدّل التصريف يكون عموماً بين 25 و35% من معدّل الضخ لدى أفضل كفاءة تشغيل. وهناك تقنيتا نظام مراقبة يظهرهما الشكل 4-19. يستخدم أولاهما عدّاد انسياب لتشغيل صمّام تعديل مركب في مجرى جانبي للمحافظة على انسياب ثابت إلى حدٍ ما عبر المضخة عندما يكون الاحتياج أقلّ من الحدّ الأصغري لمعدّل التصريف الموصى به.

ويمكن استخدام النظام الثاني المزود بصمّام تعديل الضغط الراجع في مجرى جانبي، وذلك إذا انخفض منحني التصريف. ويعدّل الصمّام بحيث يضبط للمحافظة على ضغط تصريف للمضخة يعادل 10% تقريباً من قيمة علوّ الخرج المطلوب لدى تصريف المضخة يساوي المعدل الأصغري للتصريف. وعلى ذلك، فإنّه لدى ضغط خرج عالٍ يوافق الاحتياج الأدنى، يبدأ الصمّام في الممر الجانبي بالانفتاح ليسمح

بإعادة دوران الانسياب. يمكن تشغيل مضخات متغيرة السرعات على التوازي في تجهيزات حاوية على عدّة مضخات. واعتماداً على نمط التصميم فإنه يمكن تشغيل المحطّات إما اعتماداً على المشاركة في الحمولة أو بتشغيل متقطع. ففي المشاركة في الحمولة تشتغل كل المضخات بالسرعة نفسها وبمعقلات متساوية.



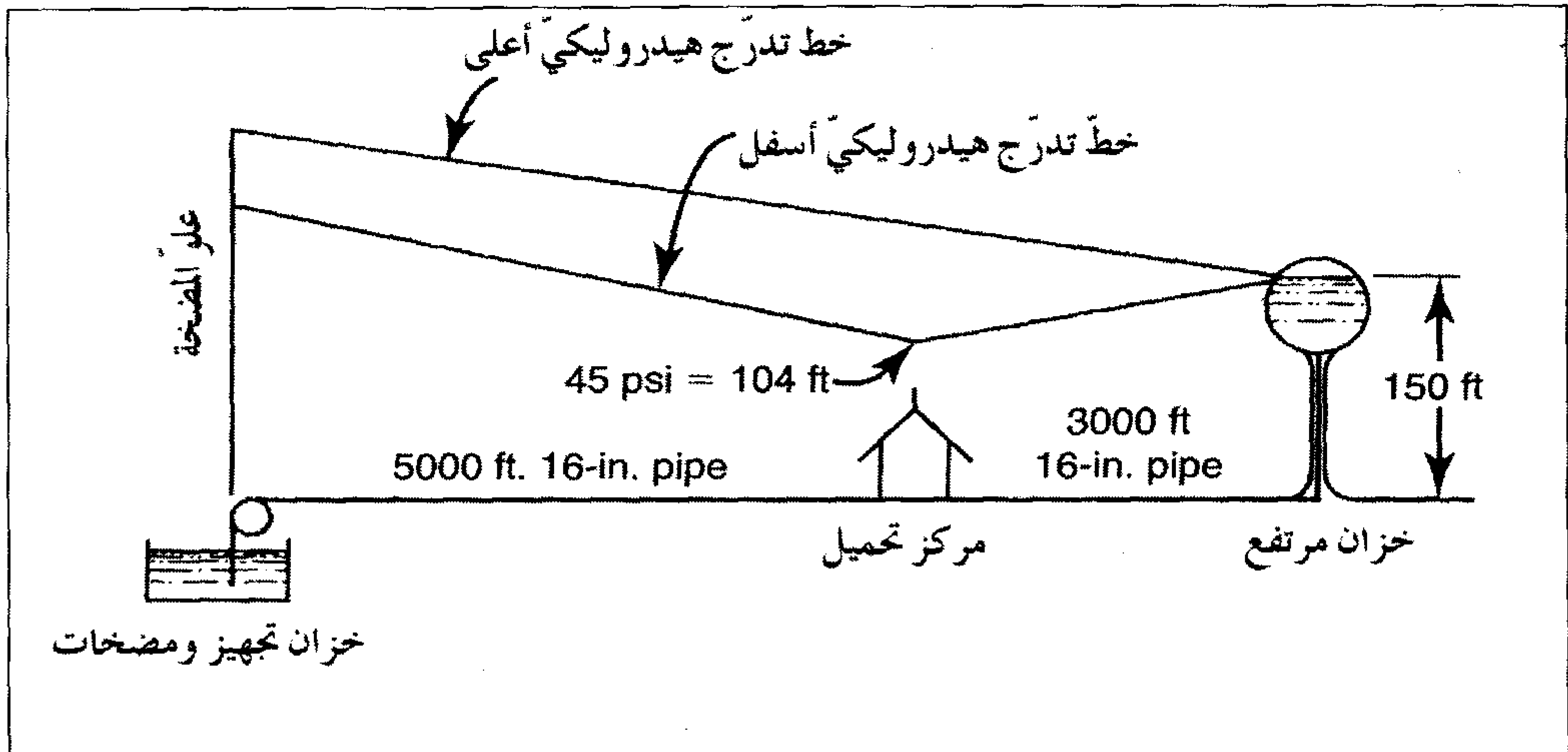
شكل 4-19: ترتيبات لحماية المضخات متغيرة السرعة. (أ) نظام صمّام تعديل لعدّاد الانسياب. (ب) ترتيب صمّام تعديل للضغط الراجع

أما في التشغيل المتقطع فتعمل مضخة أو أكثر بالكفاءة الأمثل (بسرعة ثابتة)، بينما تغيّر سرعة مضخة واحدة فقط للإيفاء بالاحتياج المطلوب، ينبغي حساب دخل الطاقة للأنظمة البديلة، بهدف تحديد تصميم التشغيل الأكثر اقتصادية. يمكن استخدام المضخات متغيرة السرعات أيضاً بالاشتراك مع المضخات ثابتة السرعة. وغالباً ما تلبي الوحدات متغيرة السرعات احتياجات الانسياب القليل في التشغيل المتقطع. ويمكن إضافة منحنيات علوّ - تصريف ومنحنيات احتياج - علو وفق الأسلوب الموصوف في تركيب مضخات متعدّدة ثابتة السرعة (الشكل 4-17).

مثال 4-8

ارسم منحنيات علوّ - تصريف لكل من حالتي شروط التشغيل للنظام المائي البسيط الموضّح في الشكل 4-20. يتشكّل منحني علوّ - تصريف الأعلى (الحدود العليا) عندما يدخل تصريف المضخة إلى الخزّان المرتفع وذلك دون وجود أيّ

سحب للمياه منه. ويتشكّل أخفض منحني متوقّع منحني علوّ - تصريف الأعلى عندما يساوي الضغط في مركز التحميل 45 Psi ويدخل الانسياب إلى النظام من كلّ من تصريف المضخة ومن الخزّان المرتفع. ارسم على مخطط علوّ - تصريف منحني المضخة المميّز نفسه من الشكل 4-13 لدى سرعة تشغيل قدره (rpm) 1750. حدّد مجال تشغيل المضخّة.

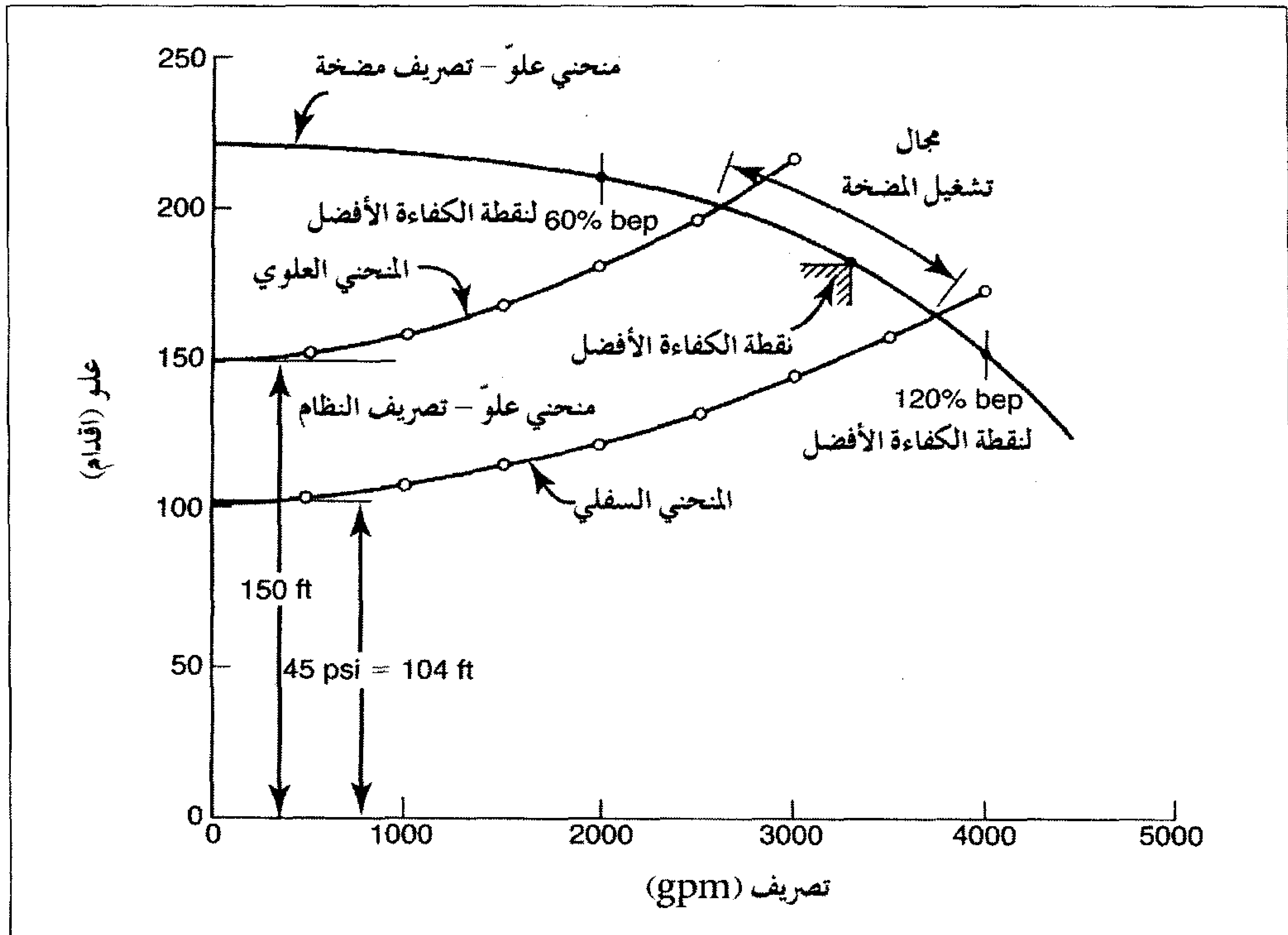


شكل 4-20: نظام مائي مبسّط 4-8

الحل

تحت ظروف عدم وجود أيّ سحب، يكون العلوّ السكوني الذي ينتقل إلى المضخات من الخزّانات المرتفعة مساوياً 150 ft. تقدر فقودات علوّ الاحتكاك في الأنبوب ذي الطول 8000 ft وقطر هي .16 in، لكل تصريف من تصاريف المضخّة. فمثلاً لدى 2000 gpm، يكون فقد العلوّ في الأنبوب ذي الطول 8000 ft وقطر .16 in مساوياً لـ 0.0037 ft/ft x 8000 ft، أو .30 in، ويكون الفقد الكلّي للمضخة يساوي 150 ft مضافاً إليها 30 ft لتغدو 180 ft. لذلك تكون قيمة أيّ

نقطة مرسومة على منحني علوّ – تصريف الأعلى للنظام 2000 gpm و180 ft.
بينما تبدو النقاط المحسوبة على امتداد المنحني المرسوم في الشكل 4-21.



شكل 4-21: حل المثال 4-8 منحنيات نظام علوّ – تصريف لنظام مياه مبسّط موضّح في الشكل 4-20 و لمنحني مضخة نموذجي لدى 1750 rpm من الشكل 4-13

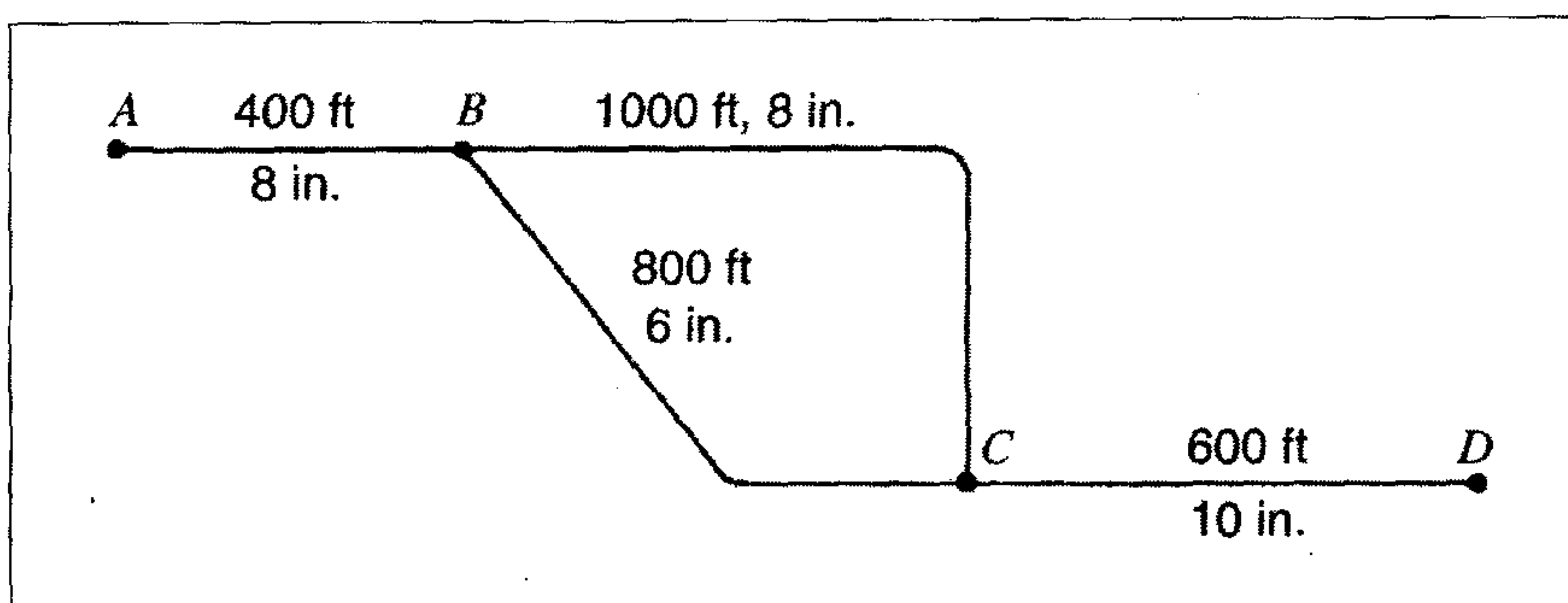
وللتصريف في مركز التحميل يكون العلوّ السكوني 45 Psi أو 104 ft، ويقدر فقد علوّ الاحتكاك لأنبوب طوله 5000 ft وقطره .16 in. فمثلاً لدى 2000 gpm سيكون العلوّ الكلّي 104 ft مضافاً إليه 0.0037 ft/ft x 5000، ما يساوي بالتالي ft 123. وهذه هي أحدى النقاط الموقّعة على منحني علوّ – تصريف الأسفل للنظام.

إن منحني علوّ – تصريف المضخة هو المنحني المميّز نفسه للمضخة لدى 1750 (rpm) من الشكل 4-13. وخلال التشغيل على امتداد منحني علوّ – تصريف النظام، فسيكون علوّ المضخة مساوياً لـــ 200 ft ويكون التصريف 2620 gpm. وسيكون تقاطع منحني علوّ – تصريف النظام الأسفل مع منحني علوّ – تصريف

المضخة لدى 165 ft و 3770 gpm. إن مجال تشغيل المضخة يوسّع نطاق (bep) بحيث سيتراوح بين 60 و 120% من قيمة (bep).

6-4 الأنابيب المكافئة

الأنبوب المكافئ هو قناة أو أنبوب وهمي يحلّ محلّ مقطع من نظام حقيقيّ بحيث تكون فقودات العلوّ في كِلا النظامين مطابقةً لكمية الانسياب. فمثلاً يمكن لأنابيب من أقطار مختلفة موصولة على التسلسل أن تُستبدل بأنبوب مكافئ بقطر وحيد كالتالي: افترض كمية من الانسياب ثم قدّر فقد العلوّ في مقطع من الخط لهذا الانسياب، ثم وباستخدام مجموع فقودات العلوّ المقطعية والانسياب المفترض، أدخِل على المخطط البياني لإيجاد قطر الأنبوب المكافئ. أما في أنظمة الأنابيب الموصولة على التوازي، فيفترض وجود فقد علوّ، حيث حسبت كمية الانسياب عبر كلّ من الأنابيب على أساسها. ثم تمّ استخدام مجموع الانسيابات وفقد العلوّ المفترض لتقدير حجم الأنبوب المكافئ. يظهر المثال 4-9 حسابات الأنبوب المكافئ للخطوط الموصولة على التسلسل وعلى التوازي.



شكل 4-22: نظام أنبوب للمثال 4-9

لا يمكن تطبيق طريقة الأنابيب المكافئة في الأنظمة المعقدة، نظراً إلى أن خطوط التحويل تتسبب بتضمين الأنابيب في أكثر من طريق حلقيّة واحدة، إضافة إلى وجود

عدد من نقاط سحب الماء في النظام عادة. وتحسب الانسيابات في الأنابيب وفقودات العلوّ وضغوطات الماء في أنظمة التوزيع بواسطة تحليل حاسوبي.

مثال 4-9

حدد أنبوب مكافئ لطول 2000 ft ليحلّ محلّ نظام أنبوب موضّح في الشكل 4-22

الحل

استبدل أولاً الأنابيب المتوازية بين B وC بأنبوب مكافئ طوله 1000 ft. افترض فقد علوّ قدره 10 ft بين B وC. اعتماداً على المخطط البياني، فإن الانسياب في أنبوب قطره 8 in. لمسافة 1000 ft تحت فقد علوّ قدره 10 ft/1000 ft = 550 gpm، والانسياب في أنبوب قطره 6 in. تحت فقد علوّ قدره 10 ft/800 ft (12.5 ft/1000 ft) = 290 gpm. إن الأنبوب المكافئ بين B وC، 1000 ft هو ذلك الأنبوب الذي له حجم بحيث يمكنه من أن يكون له فقد علوّ قدره 10 ft/1000 ft عند تصريف يساوي 550+ 290 = 840 gpm، ومن المخطط البياني يظهر أن قطر الأنبوب المعني = 9.4 in..

ثم لاحظ أن الأنابيب الثلاثة في التتابع: 400 ft بقطر 8 in.، 1000 ft بقطر 9.4 in.، 600 ft بقطر 10 in.. ولدى انسياب مفترض قدره 500 gpm، فإن فقودات العلوّ في الأنابيب تساوي 0.4 x 8.3 = 3.3 ft، 3.8 ft، و0.6 x 2.7 = 1.6 ft على التوالي وذلك لمجموع 8.7 ft فقد علوّ في 2000 ft. إن الأنبوب المكافئ من A إلىD هو ذلك الأنبوب الذي له قطرّ يبدي فقداً قدره 1000 ft/4.4 ft بانسياب = 500 gpm. والجواب هو 9.2 in..

4-7 تحليل حاسوبي لشبكة الأنابيب

لقد طوّرت، برامج رياضيّة عديدة للتحليل الحاسوبي لأنظمة توزيع الماء باستخدام الحواسيب الشخصية. والخيار الشائع منها هو نموذج محاكاة حالة مستقرة

والذي يمثّل النظام لأيّ مجموعة محدّدة مسبقاً من ظروف الانسياب والضغط. ويحاكي نموذج حالة غير مستقرة خلال سلسلةٍ من الخطوات المتعاقبة عبر الزمن. وبعد اختيار البرنامج المناسب، يتمّ إدخال بيانات حول نظام الماء كما يتمّ معايرة البرنامج اعتماداً على قياسات حقلية. تنظّم عادةً صحائف الحاسوب المطبوعة النتائج على شكل أعمدةٍ يندرج فيها الانسياب في الأنابيب، والضغط عن نقاط اتصال الأنابيب، والتدرجات الهيدروليكيّة، وضغوط تصريف المضخّة، وكل البيانات المدخلة. والمكوّنات الفيزيائية التي تصف نظام توزيع مياه هي شبكة الأنابيب، وخزانات التخزين، والخزّانات، والصمّامات والملحقات الفرعية.

يخزّن الحاسوب شبكة الأنابيب كخريطةٍ محدّدة رياضياً عبر دمج البيانات المتعلقة بطول الأنابيب وأقطارها، قيم الخشونة (قيم C هازن ويليامز)، وصلات الأنابيب (نقاط الالتقاء) متضمناً ارتفاعاتها وأنابيب الوصل بأرقامها، وصمّامات الاختبار، ومنظمّات الضغط. تفترض عادةً قيم عوامل خشونة الأنبوب اعتماداً على عمر الأنبوب، ومن ثم يضبط خلال معايرة النموذج. وفي بعض الحالات يتمّ تقدير قيم C الفعليّة لخطوط الأنابيب الرئيسة من خلال الاختبارات الميدانية. تسمح بعض برامج الحاسوب باستبعاد أنابيب محدّدة في أثناء إجراء التحليل. ويسمح هذا الخيار بالتالي بدمج امتدادات مسبقة لخط الأنابيب الرئيسيّ والتي يمكن لاحقاً إما تضمينها وذلك لتقويم التوسعات المقترحة، أو حذفها للقيام بالتحليل على الشبكة الموجودة. ولتصغير حجم نموذج الشبكة، إما أن تهمل الأنابيب ذوات الأقطار الصغيرة أو تُدمج مع الخطوط المجاورة وذلك عبر التعويض بأنابيب مكافئة هيدروليكياً. إن شبكة أنابيب هيكيلية منتقاة بعناية تبسّط النموذج دون فقدان دقّة التحليل. يتمّ تحديد خزّانات التخزين عبر تحديد مواقعها في شبكة الأنابيب بمنسوب مياه التشغيل.

يتم وصف محطات الضخّ عبر الارتفاع، ومنحنيات علوّ - تصريف المحطة، والتي يتمّ تحديدها رياضياً في المجال الاعتيادي لتشغيل المضخّات. لا يمكن دمج

منحنيات علوّ -تصريف المضخة المنجزة من قبل الشركة الصانعة مباشرة في البرنامج، نظراً إلى أنها لا تأخذ بالاعتبار مستوى الماء المسحوب وفقودات العلوّ في شبكة أنابيب المحطّة وفقودات علوّ أعمدة الماء في الآبار، وتآكل الشفرات أو أيّ عوامل أخرى. ويتم تقدير خصائص المضخة على أفضل نحوٍ لإدخالها في النموذج عبر قياساتٍ حقليّة لدى محطّة الضخّ أو البئر تحت طيف من ضغوط التصريف. إن القيام بقياسات متزامنة لمنسوب الماء في خزّانات السحب وضمن إكساء البئر، ضرورية لضبط منحنيات الضخّ في ظروف مختلفة.

وبنمذجة النظام الفيزيائي، تكون الخطوة التالية دمج بيانات استخدام الماء، وذلك بمحاصصة سحب الماء عند نقاط الالتقاء (نقاط الاتصال في شبكة الأنابيب) تحت ظروف استهلاك الماء معروفة. وإحدى المقاربات في ذلك هي تخصيص سحوبات مائيّة للمستفيدين التجاريين والصناعيّين عند نقاط الاتصال القريبة منهم، وتوزيع الاستهلاكات المنزلية المخصصة وفقاً لعدد السكان ونمط المنازل. فإن لم يتساوَ مجموع السحوبات مع معدّل الإنتاج اليومي للمياه، فيتم توزيع من لم يُحسب حسابهم في توزيع الماء على نقاط الاتصال. وهناك مقاربةٌ أخرى بديلة تقوم على البدء بتخصيص معدّل السحب اليومي من الماء إلى كبار المستفيدين التجاريين والصناعيّين وتخصيص الاستهلاك المتبقي على نقاط الاتصال بناء على مساحة الأرض أو طول الأنابيب. ومن الواضح أن سجلات الاستهلاك الفعلي للمياه في المناطق السكنية والتجارية والصناعيّة المستمدة من قراءات العدّادات تعطي أفضل بيانات عن استهلاك الماء.

يجب أن يعاير النموذج الرياضي للنظام في برنامج الحاسوب، للتأكّد من أنه يمثّل النظام الحقيقي بأقرب ما يمكن. وتتضمّن الإجراءات عادةً تسجيل الانسيابات، والضغوط وظروف التشغيل لأيام اختبارٍ منتقاة. ومن ثم تدخل هذه البيانات للتحليل الحاسوبي ويتم التحقّق من النتائج بمقارنتها بالقياسات الحقلية. تتم المعايرة الأولية بقياس الضغوط في مواقع مختلفة عبر شبكة الأنابيب عندما يكون توزّع السحوبات

نموذجي لمتوسط الاستهلاك، ويكون ذلك عادةً عند الساعة الثامنة صباحاً والرابعة بعد الظهر في أيام العطل الأسبوعية. وإضافة إلى تسجيلات الضغط السكوني عند الصنابير، هناك معلومات أساسية تتضمّن ارتفاعات الماء في الخزّانات، ضغوط التصريف ومعدلات الانسياب من محطات الضخّ ومن الآبار وقياس الانسياب بالأمتار في نظام التوزيع ولدى المستهلكين الرئيسين للمياه. فإن كانت المحاكاة غير كافية نتيجة انحرافات محلية، فإنّه يجب تحرّي إمكانية وجود صمّام مغلق أو أيّ ممارسات لانظامية في نظام التوزيع. ويتم عادةً معايرة نموذج عبر تغيير قيم C في شبكة الأنابيب، وضبط توزيع سحوبات الماء إن كان ذلك ضرورياً. فإن تمت معايرة النموذج لكي يعيد إنتاج الضغط الملاحظ في أثناء متوسط استهلاك الماء، فإن التوقع الدقيق غير مضمون في الحالات المتطرفة كمتطلبات الحرائق من الماء، ومتطلبات الحدّ الأقصى للاستعمال اليومي. إضافة إلى ذلك هناك مشكلة رئيسة تكمن في أن أخطاء التعويض يمكن إدخالها إلى النموذج في المراحل الأولية للمعايرة. فمثلاً، تتسبب تقديرات أعلى من مقادير الاستخدام اليومي الفعلي للمياه بإزاحة انتقاء قيم C على نحوٍ خاطئ، ما يجعل النموذج يبدو وكأنه قد تمّت معايرته.

إن قدرة النموذج التنبؤية تتطلّب جمع وتحليل مجموعات كبيرة من البيانات لإجراء كلّ من المعايرة والتثبّت، وذلك بهدف استبعاد أخطاء التعويض. يمكن إنجاز التثبّت عبر قياسات انسيابات الذروة خلال فترات الاستهلاك الموسميّ الأعظميّ للمياه وبالقيام باختبارات إطفاء امتدادات النيران في مواقع ضمن نظام التوزيع. يتمّ التحقّق من دقّة المعايرة بمقارنة قيم مخرجات الحاسوب للمتغيرات الهيدروليكيّة مع القياسات الحقلية خلال دراسات التحقّق. ينبغي أن تكون الضغوط المُتنبأ بها ضمن ±5 Psi. تبلغ دقّة قراءة مقياس الضغط لدى صنبور تقريباً 2 Psi، وإن خطأً قدره 10 ft في قياس ارتفاع صنبور اختبار سيترتب عنه خطأ قدره Psi 4. وحيث إن قراءات الضغط عرضةً للتأثير ببيانات ارتفاعٍ غير دقيقة، فقد أُوجِدت طريقة بديلة لتقدير درجة المعايرة تكمن في مقارنة الانسيابات المتنبأ بها عبر

القياسات الحقلية ومحاكاة الحاسوب لدى ضغط متبقي عشوائي شائع مثل قيمة Psi 20 المُستخدمة في حسابات امتدادات الحرائق. والقرينة الثالثة هي نسبة فقد العلوّ المُلاحظ إلى فقد العلوّ المُتنبأ به، والتي تشير أيضاً إلى وجوب تعديل قيم C أو سحوبات الماء للوصول إلى المعايرة من عدمه.

إن لنموذج حاسوبي موثوق لنظام توزيع عدّة فوائد. ويمكن تقييم هيدروليك النظام لكفاءة طاقية نموذجيّة. فمن أجل فترتي الاحتياج المائي الأدنى والأقصى، يمكن تحليل المضخات والآبار للوصول إلى التشغيل المثالي. ويمكن دراسة حالات الطوارئ كالاحتياج المائي في حالات اندلاع الحرائق أو انكسار خطّ مياه رئيس، كما يمكن تحليل التأثير المحتمل لمستهلكٍ صناعيٍّ رئيس. وفي التخطيط لمنشآتٍ جديدة يمكن استخدام نموذج معاير لاختبار المخططات البديلة وتثبيت أولويات التحسين. وأخيراً، فإن النموذج أساسيّ في تقدير حجم خطوط الماء الرئيسة الجديدة وفي تحديد أماكن خزّانات التوزيع واختيار المضخّات.

إن عملية صياغة ومعايرة نموذج حاسوبي تتطلّب فهماً تاماً لنظام توزيع الماء الذي تتم نمذجته إضافةً إلى خبرةٍ في تحليل الشبكات. وبالرغم من أنّه يمكن صياغة النموذج الرياضي في فترةٍ زمنيّة قصيرةٍ، إلا أن معايرته والتثبّت من ملاءمته تتطلّب جمع بيانات حقلية دورية على مدى عامٍ كاملٍ على الأقلّ. توفّر النشاطات التي تتضمن معايرة النموذج والتشغيل الأمثل، فرصة تعليمية لموظفي النظام، حيث إن تحسينات التقييم التي تستند إلى تحليلات النموذج تكون غالباً ذات أهمية خاصة في إدارة النظام.

8-4 الانسياب الثقالي في الأنابيب الدائرية

تصمّم المجاري الصحية ومجاري العواصف كي تنساب الماء فيها كقنوات مفتوحة، غير خاضعة للضغط، وبالرغم من أن مجاري العواصف قد تكون أحياناً

زائدة الحمولة عندما ترتفع الماء في الفتحات متجاوزة طاقة المجرور. وتنساب مياه الصرف في الأنبوب إلى مصب المجرور، حيث تتحرك بتأثير قوة الثقالة. تعتمد سرعة الانسياب على شدة ميل انحدار الأنبوب ومقاومة الاحتكاك. وتستخدم معادلة ماننغ (Manning Equation)، معادلة 4-20، لانسياب قناة مفتوحة متجانس ومنتظم. ويعتمد معامل الخشونة *n*، (Roughness Coefficient) على وضعية سطح الأنبوب، واستقامة مقاطع الأنبوب وطريقة التوصيل. وتتمتع مواد أنابيب المجاري الشائعة من الصلصال المزجّج والبيتون الأملس بقيم *n* تقع في مجال 0.011 إلى 0.015. والقيم الدنيا قابلة للتطبيق في الماء الصافي والوصلات الملساء، بينما تسود قيم الخشونة المرتفعة في مياه الصرف وتركيبات الوصلات السيئة. وللفولاذ المموّج أو المتغضّن المُستخدم لمياه الصرف خشونة عالية ملحوظة، تتراوح بين 0.021 و0.026، بينما تبلغ قيمة *n* المعتمدة في تصميم المجارير 0.013. وقد تبدي بعض مواد الأنابيب كالبلاستيك في ظروفٍ جديدةٍ قيم *n* منخفضة، فبعد وضع أنبوب بلاستيكي في الاستخدام يبدأ فوراً بتكديس الشحوم ومواد أخرى تغيّر من طبيعة الجزء الداخلي للأنبوب وتسبّب اضطراباً في انسياب مياه الصرف.

$$Q = \frac{1.49}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \qquad \textbf{(20-4)}$$

حيث:

Q = كمية الانسياب (cu ft/sec)

n = معامل الخشونة اعتماداً على نوع المواد

A = مساحة المقطع العرضي للانسياب، ft^2

R = نصف القطر الهيدروليكيّ، قد (مساحة المقطع العرضي مقسومة على محيط المنطقة الرطبة من الأنبوب)

S = انحدار التدرّج الهيدروليكيّ، ft/ft

وتصبح معادلةماننغ، معادلة 4-21 بالواحدات المترية SI كالآتي

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/}$$ (واحدات مترية) SI **(21-4)**

حيث:

Q = كمية الانسياب m^3/sec

n = معامل الخشونة اعتماداً على نوع المواد

A = مساحة المقطع العرضي للانسياب، m^2

R = نصف القطر الهيدروليكيّ، m (مساحة المقطع العرضي مقسومة على محيط المنطقة الرطبة من الأنبوب)

S = انحدار التدرّج الهيدروليكيّ، m/m

يحل المخطط البياني الموضّح في الشكل 4-23 معادلةماننغ (المعادلة 4-20) للأنابيب الدائرية بحيث يكون الانسياب تاماً على كامل مقطعها، وقيمة معامل الخشونة 0.013. فإذا أعطي اثنان من المتحوّلات (الانسياب، وقطر الأنبوب، وانحدار الأنبوب، أو السرعة) فإن الاثنين الآخرين يمكن تقديرهما من تقاطعات خطّ مستقيم مرسوم عبر المخطط البياني. فمثلاً ينقل أنبوب قطره 8 in. موضوع على منحدر قدره 0.02 ft/ft (2.0%) كمية من الانسياب قدرها 760 gpm (1.7 cu ft/sec) تملأ كامل مقطع الأنبوب بمعدل سرعة قدره 4.9 ft/sec . ويمكن حساب كمية الانسيابات لدى قيم n عدا 0.013 وذلك عبر تقسيم ناتج المعادلة على قيم العامل n المرغوب.

لقد حلت المشاكل الهيدروليكيّة في الأنابيب الدائرية التي لا يكون الانسياب فيها على كامل مقطعها عبر استخدام المعادلة 4-24. ولرسم هذه المنحنيات، يتمّ حساب نسب العناصر الهيدروليكيّة على أعماق مختلفة للانسياب في أنبوب دائري وذلك باستخدام معادلة ماننغ. وتشير الرموز q، v، a إلى ظروف الانسياب الجزئي

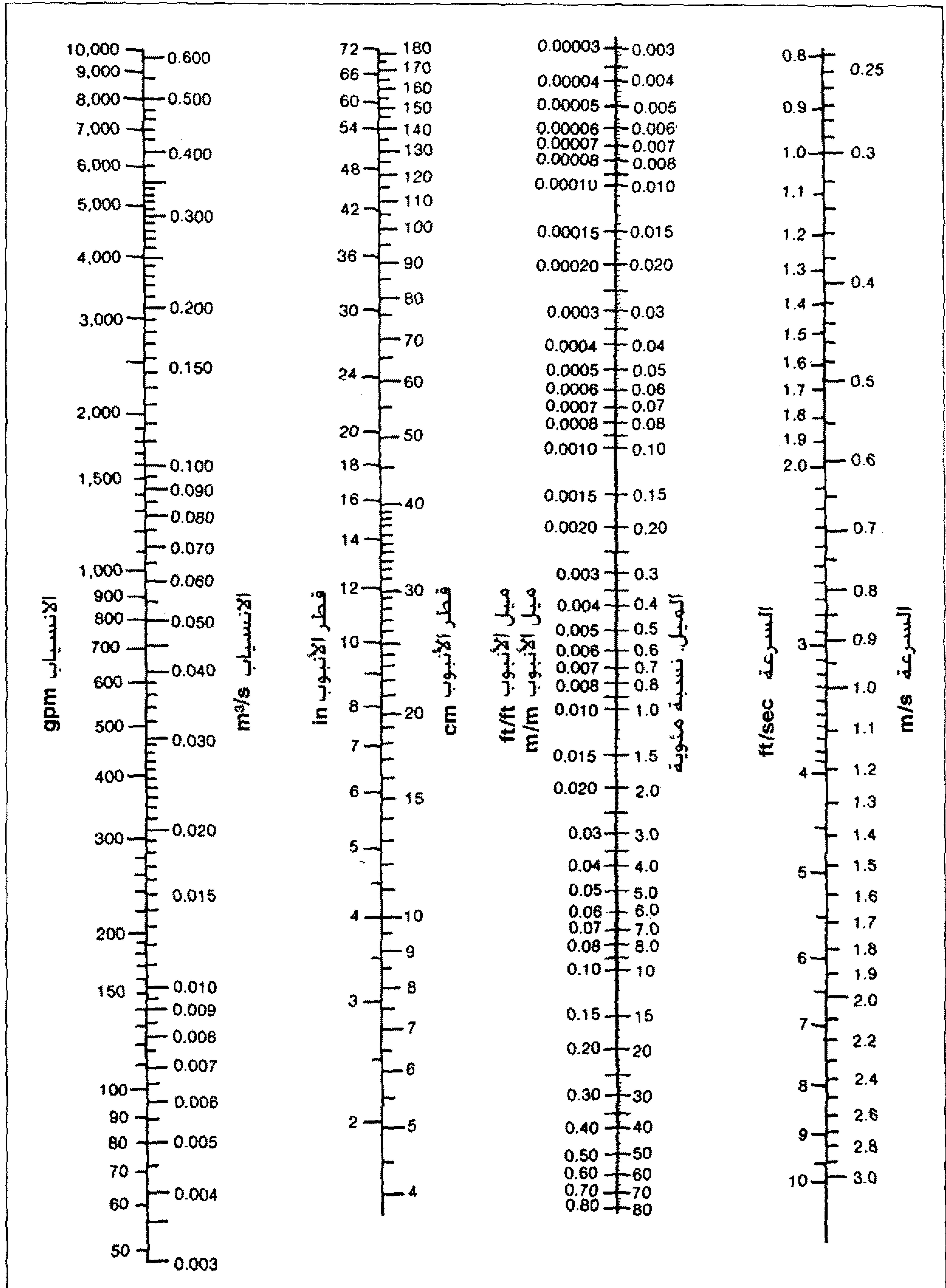
بينما تشير Q، V، A إلى انسيابٍ كامل. يمثّل الانسياب في أنبوب على عمقٍ يبلغ 30% من قطر الأنبوب بالخط الأفقي الموسوم 0.3. عند تقاطع هذا الخط مع الخطوط المنحنية لكمية الانسياب، مساحة مقطع الانسياب، السرعة، اسقط خطاً شاقولياً للأسفل إلى المقياس الأفقي واقرأ على التوالي قيم 0.2 و0.25 و0.78، والتي تعني أن الانسياب الجزئي عند هذا العمق كمية من الانسياب قدرها 20% من كمية الانسياب التام، وأن مساحة المقطع العرضي للانسياب تبلغ 25% من المساحة الكلية المفتوحة للأنبوب، وأن معدّل سرعة الانسياب يساوي 78% من سرعة الانسياب التام.

ويظهر هذا المخطط أن أنبوباً يبلغ فيه الانسياب نصف عمقه، سينقل نصف كمية الانسياب التام، إذا كانت السرعة تساوي سرعة الانسياب التام. وستكون الكمية القصوى للانسياب عندما يكون الانسياب لدى 0.93 من عمق الأنبوب، وتكون السرعة القصوى لدى 0.8 من عمق الأنبوب. ويعود السبب في ذلك إلى أنه باقتراب مقطع الانسياب من الانسياب التام، سيكون لمقاومة الاحتكاك الإضافية الناتجة بسبب قمة الأنبوب تأثير أكبر من تأثير مساحة المقطع العرضي الإضافية.

يعطي الشكل 4-24 في التطبيقات العملية نتائج تقريبية فقط، نظراً إلى أن المنحنيات النظرية تستند إلى انسياب متجانس وثابت والتي لا تميّز بدقّة طبيعة الانسياب الفعلي في المجارير. تظهر الأمثلة من 4-10 إلى 4-13 استخدام معادلةماننغ إضافة إلى رسوم بيانية ومخطط انسياب جزئي.

مثال 4-10

إذا وضع مجرور .in 10 على ميل مقداره 0.010. فكم تبلغ كمية الانسياب التام والسرعة من أجل (أ) $n = 0.013$ و(ب) $n = 0.015$؟



شكل 4-23: مخطط بياني لمعادلة ماننغ في الواحدات الإنجليزية والواحدات المترية لأنابيب دائرية بانسياب تام استناداً إلى n = 0.013 (موافقة U.S. Pipe & Foundry Co).

الحل

(أ) ارسم في الشكل 4-23 عبر الميل = 0.010 وقطر = .10 in، كي تقرأ Q = gpm 990 ، والسرعة V = 4.0 ft/sec.

(ب) من المعادلة 4-20، يتناسب كلّ من Q وV عكسياً مع n، لذا

$$Q\ (\text{لدى } n = 0.015) = \frac{0.013 \times 990}{0.015}\ 860 = \text{gpm}$$

$$V\ (\text{لدى } n = 0.015) = \frac{0.013 \times 4.0}{0.015} = 3.5\ \text{ft/sec}$$

مثال 4-11

يبلغ العمق المقاس للانسياب في مجرور عصفي .48 in على انحدار ft/ft 0.00015 هي .30 in. كم تبلغ كمية الانسياب المحسوبة والسرعة؟

الحل

من المعادلة 4-23 يكون الانسياب التام Q gpm 7700 والسرعة V ft/sec 4.0. وتبلغ نسبة عمق الانسياب إلى قطر الأنبوب:

$$\frac{d}{D} = \frac{30}{48} = 0.62$$

ارسم خطاً أفقياً في الشكل 4-24 اعتباراً من هذه النسبة، اقرأ $\frac{q}{Q}$ و $\frac{v}{V}$ عبر رسم خطّ شاقولي نحو الأسفل اعتباراً من نقاط تقاطع الخط الأفقي مع منحنيات الانسياب والسرعة. اقرأ $\frac{q}{Q} = 0.72$ و $= 1.08\ \frac{v}{V}$

ثم يكون الانسياب على عمق .30 in مساوياً لـ 0.72 x 7700 = 5500 gpm وستساوي v = 1.08 x 1.4 = 1.5 ft/sec.

مثال 4-12

أنبوب مجاري .18 in، $n = 0.013$ وضع على ميل 0.0025. على أيّ عمق انسياب تكون عنده سرعة الانسياب مساويةً لـــ 2.0 ft/sec؟

الحل

سرعة الانسياب التام = 3.0 ft/sec (شكل 4-23).

احسب $\frac{v}{V} = \frac{2.0}{3.0} = 0.67$ ft/sec

ارسم خطاً شاقولياً في الشكل 4-24 اعتباراً من 0.67 يقطع خطّ السرعة ثم اسقط أفقياً فتقرأ $\frac{d}{D} = 0.23$.

العمق عند سرعة 2.0 ft/sec = 18 × 0.23 = 4.1 in.

مثال 4-13

كم تبلغ كمية الانسياب التام وسرعة الانسياب في مجرور قطره 450 mm، $n = 0.013$ موجود على انحدار 0.00412 m/m ؟ احسب كمية الانسياب لعمق انسياب 300 mm.

الحل

باستخدام المعادلة 4-23 لـــ $D = 45$ cm و $S = 0.00412$ m/m يصبح

$Q_{full} = 0.18\ m^3/sec = 180$ l/s

$V_{full} = 1.14$ m/s

وهناك حل بديل لـــ Q_{full} و V_{full} باستخدام المعادلة 4-21

مساحة المقطع العرضي للأنبوب:

$$= \pi\left(\frac{0.450}{2}\right)^2 = 0.159\ m^2$$

نصف القطر الهيدروليكيّ بانسيابٍ تام

$$= \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4} = \frac{0.45}{4} = 0.112 \text{ m}$$

$$Q_{full} = \frac{1.00}{0.013}(0.159)(0.112)^{2/3}(0.00412)^{1/2}$$

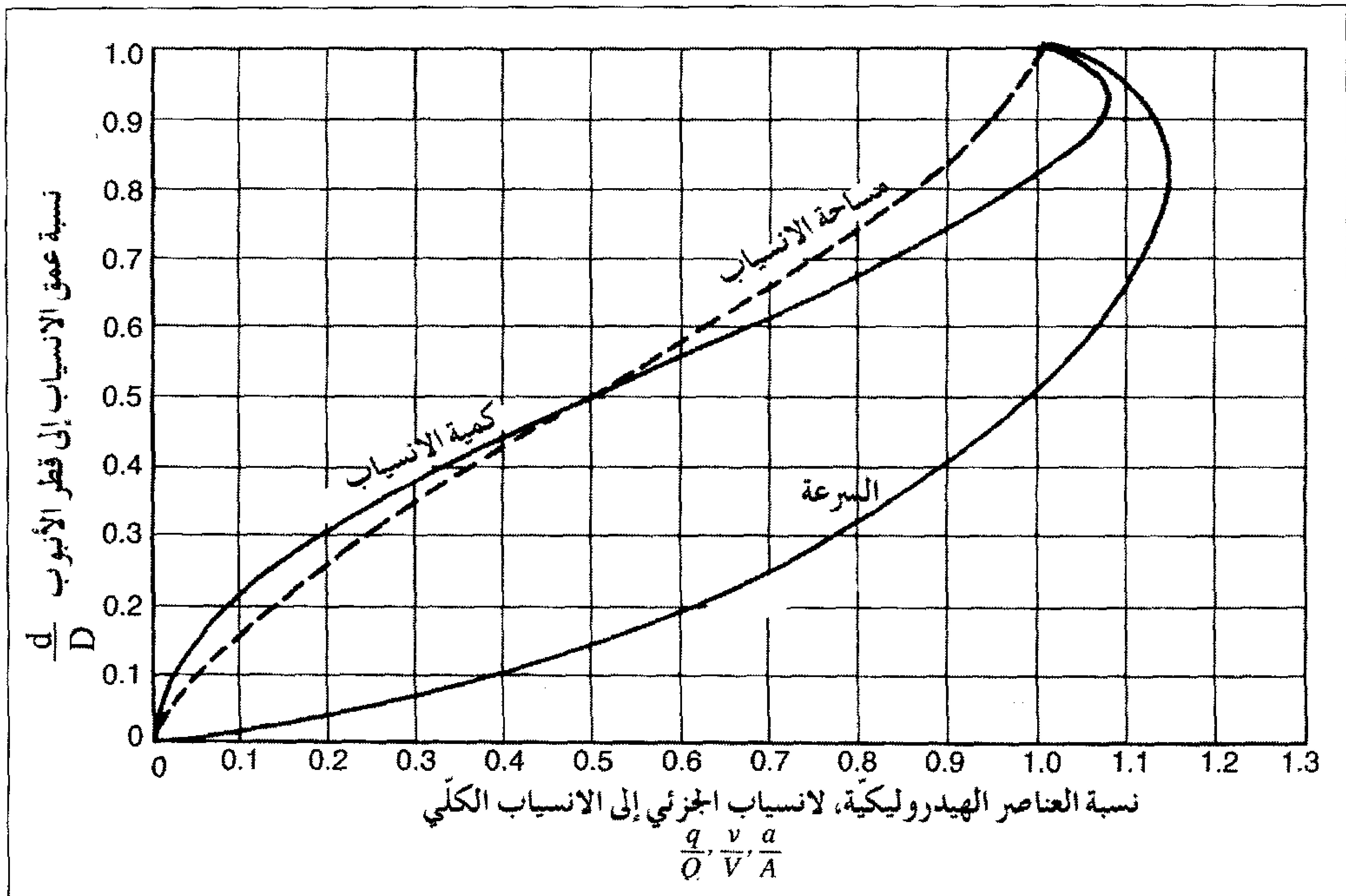
$$Q_{full} = 0.182 = \text{m}^3/\text{sec} = 180 \text{ l/s}$$

$$V_{full} = \frac{Q}{A} = \frac{0.182}{0.159} = 1.14 \text{ m/sec}$$

ادخل على الشكل 4-24 بالقيمة التالية

$$\frac{d}{D} = \frac{300mm}{450mm} = = 0.667$$

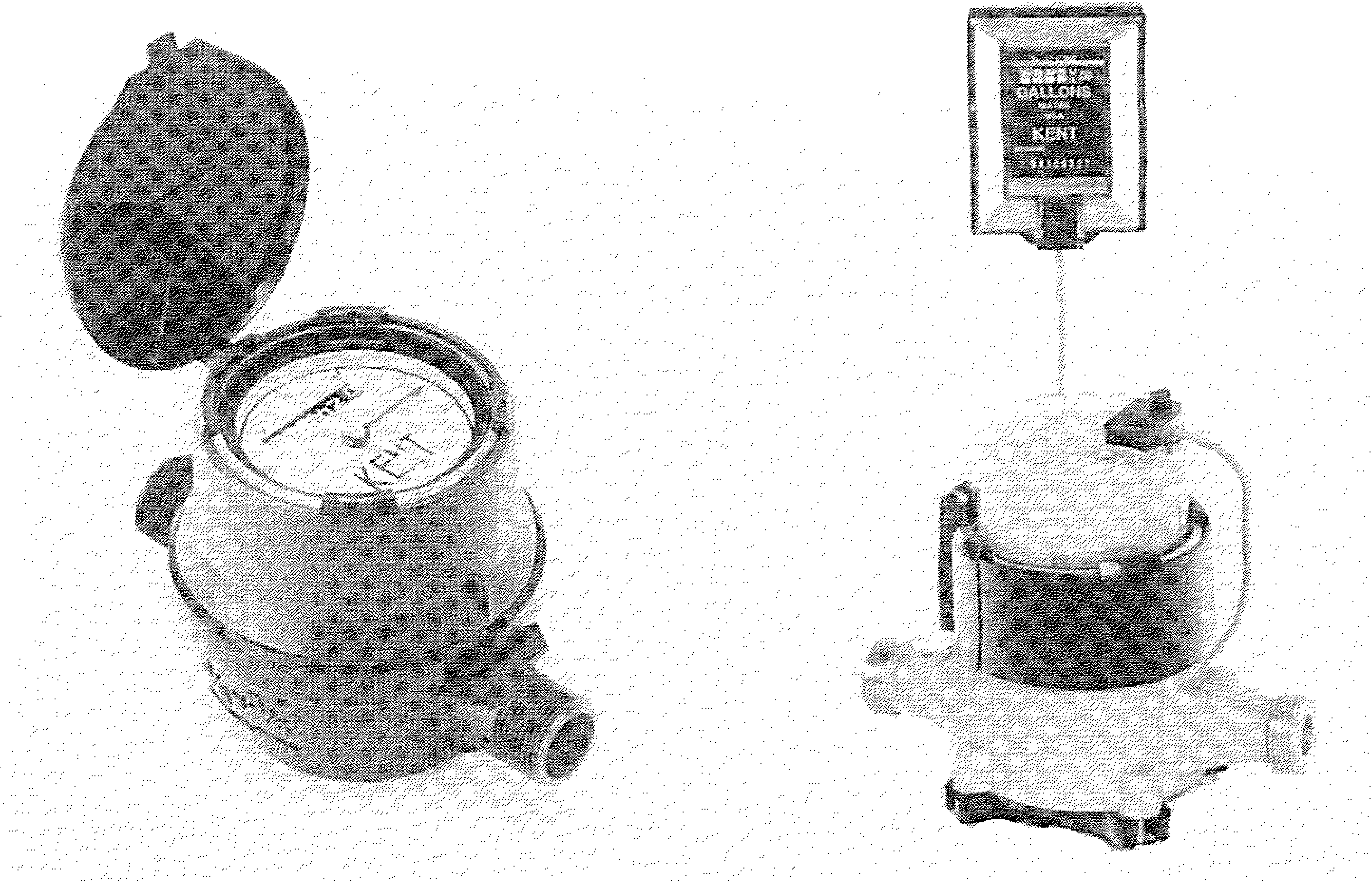
ثم اقرأ $\frac{q}{Q} = 0.78$ ، وبالتالي ستكون Q عند d (300 mm) = 180 × 0.78 = 140 l/s.



شكل 4-24: الكمية النسبية، السرعة ومساحة المقطع العرضي للانسياب في أنبوب دائري لأي عمق انسياب

9-4 قياس الانسياب في الأنابيب

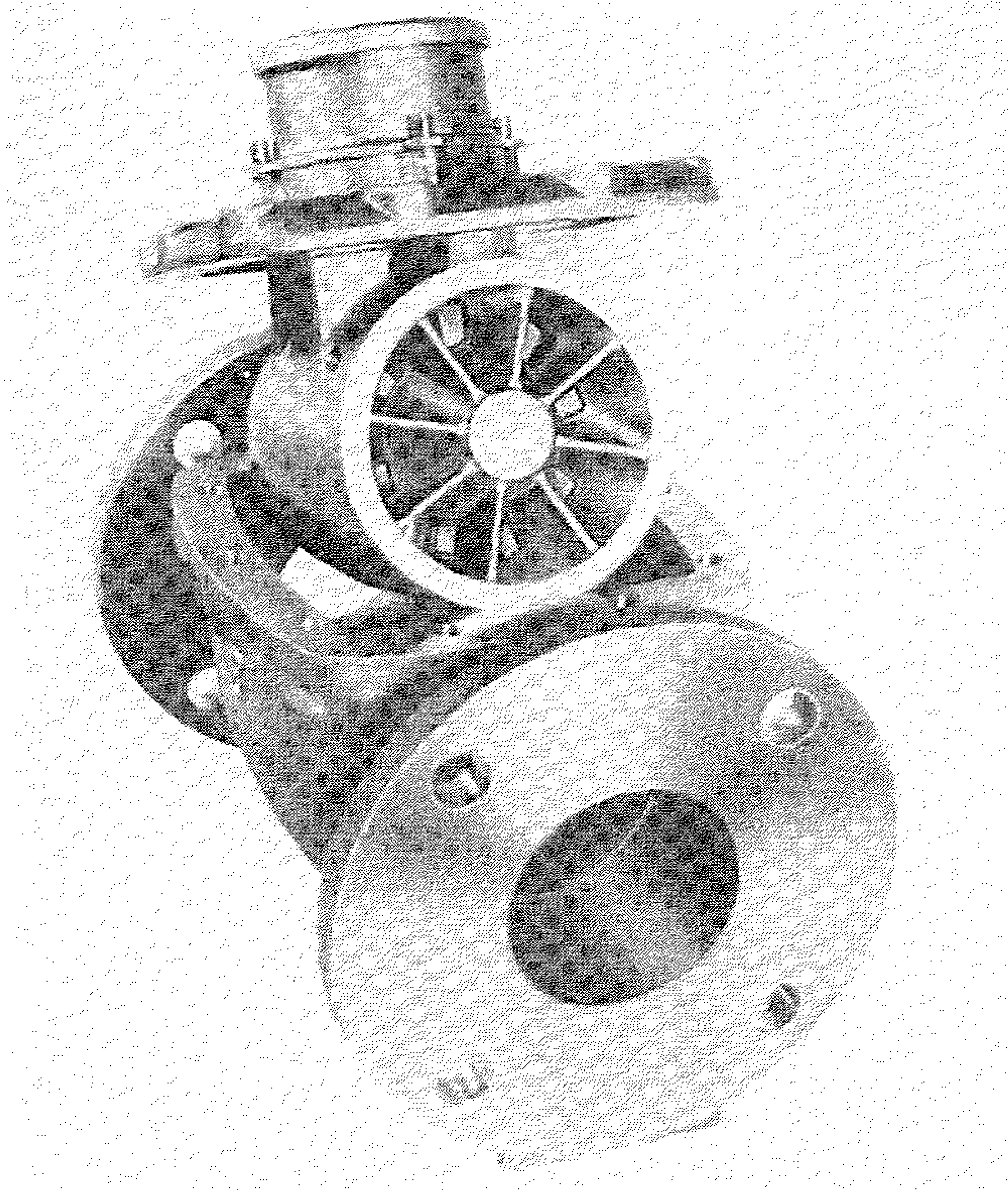
يحوي عدّاد مياه الإزاحة الإيجابية (Positive-Displacement Water Meter) حجرة قياس ذات حجم معروف تحوي على قرص يتحرك بحركة دائرية بمرور الماء عبرها (شكل 4-25). ينقل الدوران الناجم عن تعبئة وتفريغ الحجرة إلى جدول تسجيل. وميزات هذا العدّاد هي بساطة بنيته، وحساسيته العالية ودقته، والفقد البسيط في العلوّ، وانخفاض نفقات صيانته. فضلاً عن ذلك لا تتأثر دقّة التسجيل مادياً بموقع العدّاد. يستخدم عدّاد القرص المتأرجح هذا بشكل شائع من قبل خدمات صغار المستهلكين كالبيوت المستقلة والشقق.



شكل 4-25: عدّاد مياه منزلي مع قرص متأرجح ينقل إشارة العد إلى مسجل عبر بيانات مغنطيسية. يمكن للعداد أن يوصل بمسجل عن بعد مركب خارج البيت (موافقة Kent Meters Co)

لقد طوّرت عدّة شركات مصنعة للعدّادات أنظمة تسجيل عن بعد. وأبسطها هو مسجّل رقمي رُكب بعيداً عن البيت بحيث يستطيع الموظّف المسؤول عن قراءة المسجل أن يقوم بذلك خارج المنزل (شكل 4-25). ويتكون نظام آخر أكثر كفاءة،

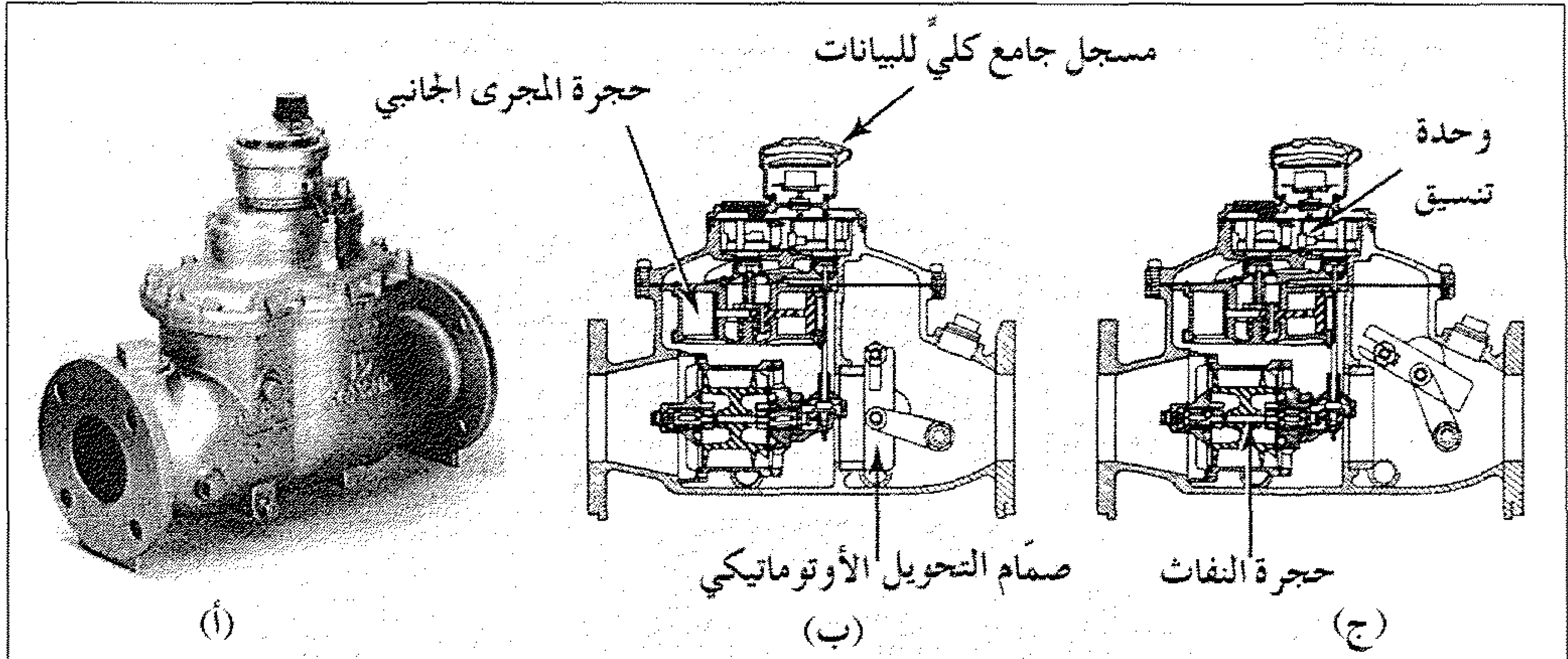
من قارئ للعدّاد من خلال مقبس، حيث يتمّ إدخال أداة تسجيل صغيرة محمولة في المقبس. وتتم في المكتب المركزيّ لاحقاً معالجة البطاقة المثقّبة أو الشريط الممغنط في جهاز معالجة البيانات من أجل الفوترة والتسجيل في ذاكرة النظام. إن القراءة البعيدة الأوتوماتيكيّة للعدّادات والفوترة بواسطة الحاسوب تخفّض تكاليف قراءة العدّادات وإعداد فواتير الماء.



شكل 4-26: عدّاد مياه من النمط التوربيني يستخدم لقياس معدّلات انسياب عالية ومستمرة

إن أداة القياس في عدّاد (سرعة) تيار (Current (Velocity) Meter) عبارة عن عجلة مزوّدة بشفرات تدور بسرعة تتناسب مع كمية الماء المارة عبرها (شكل 4-26). يتعشّق مسجل بالعجلة النفاثة للتسجيل المستمر. ونقطة ضعف عدّاد التيار هي انخفاض دقته لدى معدّلات انسياب ضئيلة إذ لا يتحرك الماء بسرعةٍ كافية تمكّن من تدوير الشفرات. وبالتالي فإن عدادات التيار ذات قيمة محدودة في أنظمة الماء

وتستخدم فقط في تطبيقات محدّدة، إذ تُستخدم مثلاً في عربات الرذّاذات التي تستجر مياهها إما من صنبور رئيسٍ أو من خزّانات مياه. إن عدادات التيار غير ملائمة لخدمة المستهلكين نظراً إلى عدم قدرتها على تسجيل معدّلات الانسياب المنخفضة.



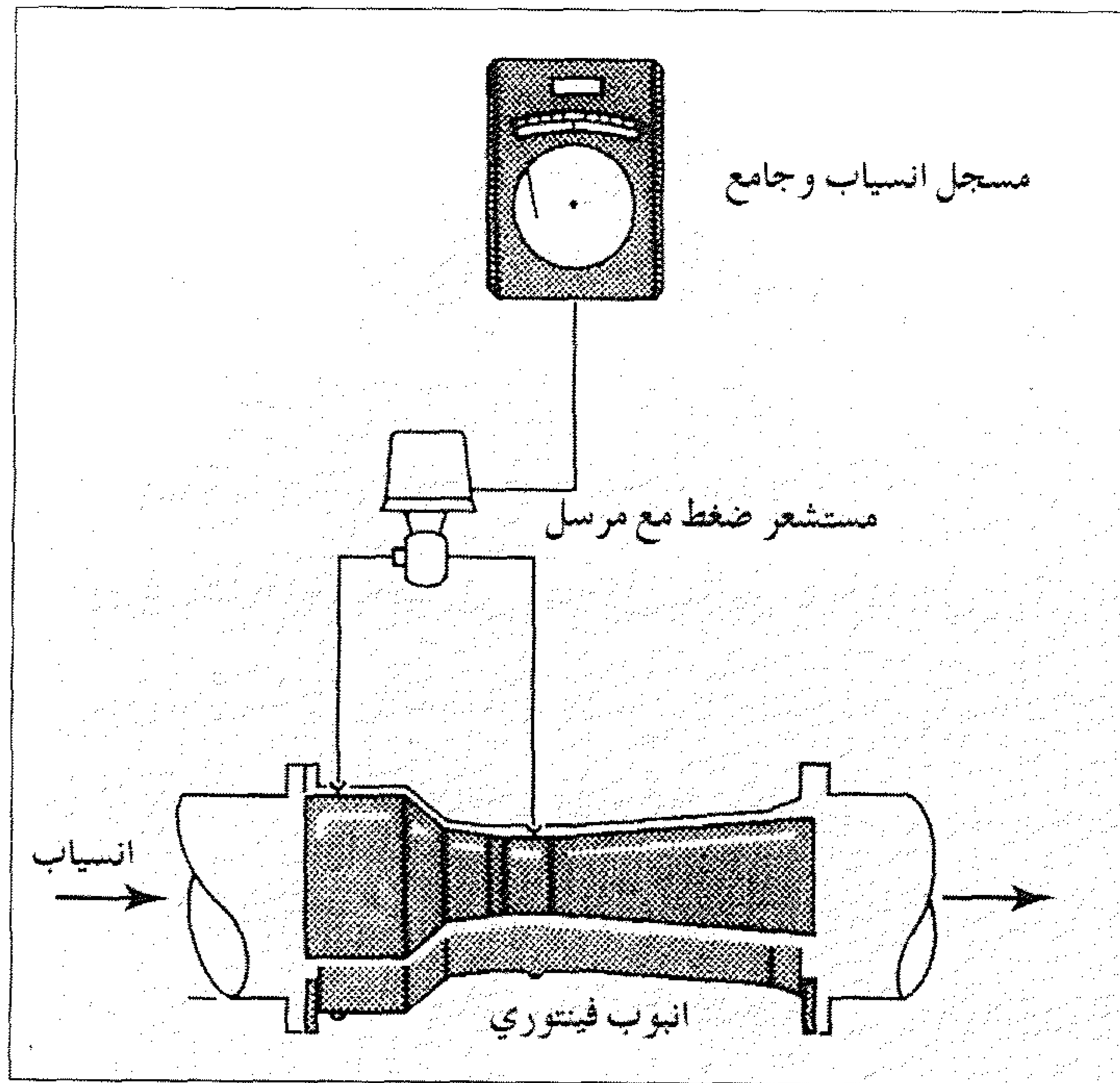
شكل 4-27: عدّاد مياه مركب مصمم للخدمات التي تتطلّب قياسات دقيقة لكل من الانسيابات المرتفعة والمنخفضة. (أ) عند الانسيابات المنخفضة، يغلق صمّام تحويل الأوتوماتيكي ليسوق الماء إلى حجرة المجرى الجانبي ذات عدّاد الإزاحة الإيجابية ذي القرص المتأرجح. (ب) عند الانسيابات المرتفعة، يفتح الصمّام بحيث ينساب الماء إلى عدّاد حجرة التوربين ذي عدّاد توربيني للانسياب المحوري. تقوم وحدة تنسيق بنقل بيانات الحجرتين المنفصلتين إلى مسجل جامع كليٍّ للبيانات

ويتألف عدّاد الخدمة العامة المركب (General-Service Compound Meter) من عدّاد تيار، وعداد إزاحة إيجابية وترتيب صمّام أوتوماتيكي يقوم بتوجيه الماء إلى عدّاد التيار خلال المعدلات المرتفعة للانسياب، وإلى عدّاد الإزاحة الإيجابية خلال المعدلات المنخفضة (شكل 4-27). وميزات ذلك هي الدقّة العالية لدى كلّ معدّلات الانسياب ومجال التشغيل الواسع نسبياً. يتمّ التحكّم بمفتاح التحويل من وضعية التشغيل للانسياب المنخفض إلى الانسياب المرتفع نتيجة فقد العلوّ عبر العدّاد القرصي، فعند اجتياز كمية معينة من الماء، يُفتح صمّام أوتوماتيكياً ويبدأ بالتالي عدّاد التيار في خطّ التجهيز الرئيس بقياس الانسياب المرتفع. تُستخدم العدّادات المركبّة في المؤسّسات الخدمية الكبيرة، كالفنادق

والمصانع ومجمعات المكاتب والمنشآت التجارية، حيث تكون معدّلات الانسياب المتغيرة بشكلٍ كبير أمراً معتاداً.

يشار إلى العدّادات النسبية (Proportional Meters) أحياناً "بالعدادات المركبّة". وقد اشتق الاسم من حقيقة أن جزءاً فقط من الانسياب الكلّي المار من العدّاد يدخل إلى حجرة قياس بمجرى جانبي (by-pass measuring Chamber) والتي هي فعلياً أداة القياس الفعليّة. يتمّ ضبط عدّاد المجرى الجانبي، سواء أكان عدّاد انزياح إيجابي أو عدّاد تيار، كي يسجّل الانسياب الكلّي عبر العداد. ويمكن استخدام عدّة طرق لإمرار الماء جانبياً من بينها عبر فتحة (Orifice) عند نقطة مجاز ضيق في الخط الرئيس، أو عبر أنبوب متشعب منه (Diverging Tube).

يستطيع العدّاد النسبي قياس أحجام كبيرة من الانسياب تحت فقد علوّ منخفض بالمقارنة مع سواه، وبانسياب غير معاق وبدقة في القياس.



شكل 4-28: عدّاد فينتوري (حفظ) مُدخل في أنبوب ماء مع مستشعر ومسجل

إن عدادات الضغط التفاضلي (Differential Pressure Gauge) والتي تضم أنابيب فينتوري (Venturi Tubes)، وفتحات وفوهات البزباز (Nozzles) موضوعة عند مقطع الأنبوب، هي أدوات القياس الرئيسة لقياس الانسياب في أنظمة الماء. يتألف العدّاد الموضّح في الشكل 4-28 من أنبوبٍ فينتوري مع جزء متحد معه، ومجاز ضيّق، وجزء متشعّب ومقياس ضغط تفاضلي. وبانسياب الماء في الأنبوب تزداد السرعة عند الجزء المتضيّق، ويخفض مؤقتاً الضغط السكوني وفقاً للطاقة، معادلة 4-2. يقاس فرق الضغط بين المدخل والجزء المتضيّق ويقارن بمعدلٍ الانسياب.

يقوم مسجل انسياب مزود بورق مدرّج وقلم تحبير بتسجيل التغيّرات في الانسياب بالنسبة إلى الزمن ومجمع كلي رقمي يقوم بتسجيل الانسياب الكلي. لقد تمّ تصميم عدادات فينتوري وإعطائها شكلاً يسمح لها بالحفاظ على انسيابٍ الماء بيُسرٍ وانتظامٍ لجعل فقد العلوّ أصغرياً. ومعادلة حساب الانسياب عبر عدّاد فينتوري هي الآتية:

$$Q = CA_2 [2g(H_1 - H_2)]^{1/2} \qquad \textbf{(22-4)}$$

حيث:

Q = كمية الانسياب، m^3/sec

C = معامل التصريف، وعادةً يكون ضمن المجال من 0.98 إلى 1.02

A_2 = مساحة المقطع العرضي للجزء المتضيق، ft^2 (m^2)

g = تسارع الثقالية، 32.2 ft/sec^2 ($9.81\ m/s^2$)

$H_2 - H_1$ = فرق علوّ الضغط بين المدخل والجزء المتضيّق ft (m)

10-4 قياس الانسياب في القنوات المفتوحة

تحتوي مياه الصرف على مواد صلبة مذابة SS وأخرى طافية تعيق استخدام العدّادات المتضمنة. فضلاً عن ذلك فإن مياه الصرف تنقل عادةً في قنوات مفتوحة أكثر من نقلها في ممرات ضغط. لذلك فإن قناة بارشال الصنعية (Parshall Flume)،

هي الأداة الأكثر شيوعاً المُستخدمة في قياس انسيابات مياه الصرف. وتتألف القناة الصنعية النموذجيّة (شكل 4-29) من مقطع متقارب ومنقّط لقناةٍ مفتوحة (Converging and Dropping Open Channel Section). ويمكن أن يقاس الانسياب المار بحرية في هذه الوحدة عبر قياس منسوب الماء قبل هذه الوحدة. وعادةً يمكن أن يجهّز وعاء عميق منخفض كي يحافظ على أنبوب طاف أو أنبوب فقاعات أو أيّ أداة قياس أخرى، والتي تُربط عادةً إلى ناقل ومسجّل انسياب مشابه لذاك الموضّح في الشكل 4-28. إن فوائد القناة الصنعية المفتوحة هي الإقلال من فقد العلوّ والقدرة على التنظيف الذاتي.

وفي حال وجود قناة بارشال الصنعية تحت ظروف انسياب حرّ (غير مغمور) تصبح معادلة حساب التصريف لقناة مفنتوحة ومعبر ضيق عرضه بين 1 ft و8 كالآتي:

$$Q = 4\ BH^{\ 1.522B^{0.026}} \qquad \textbf{(23-4)}$$

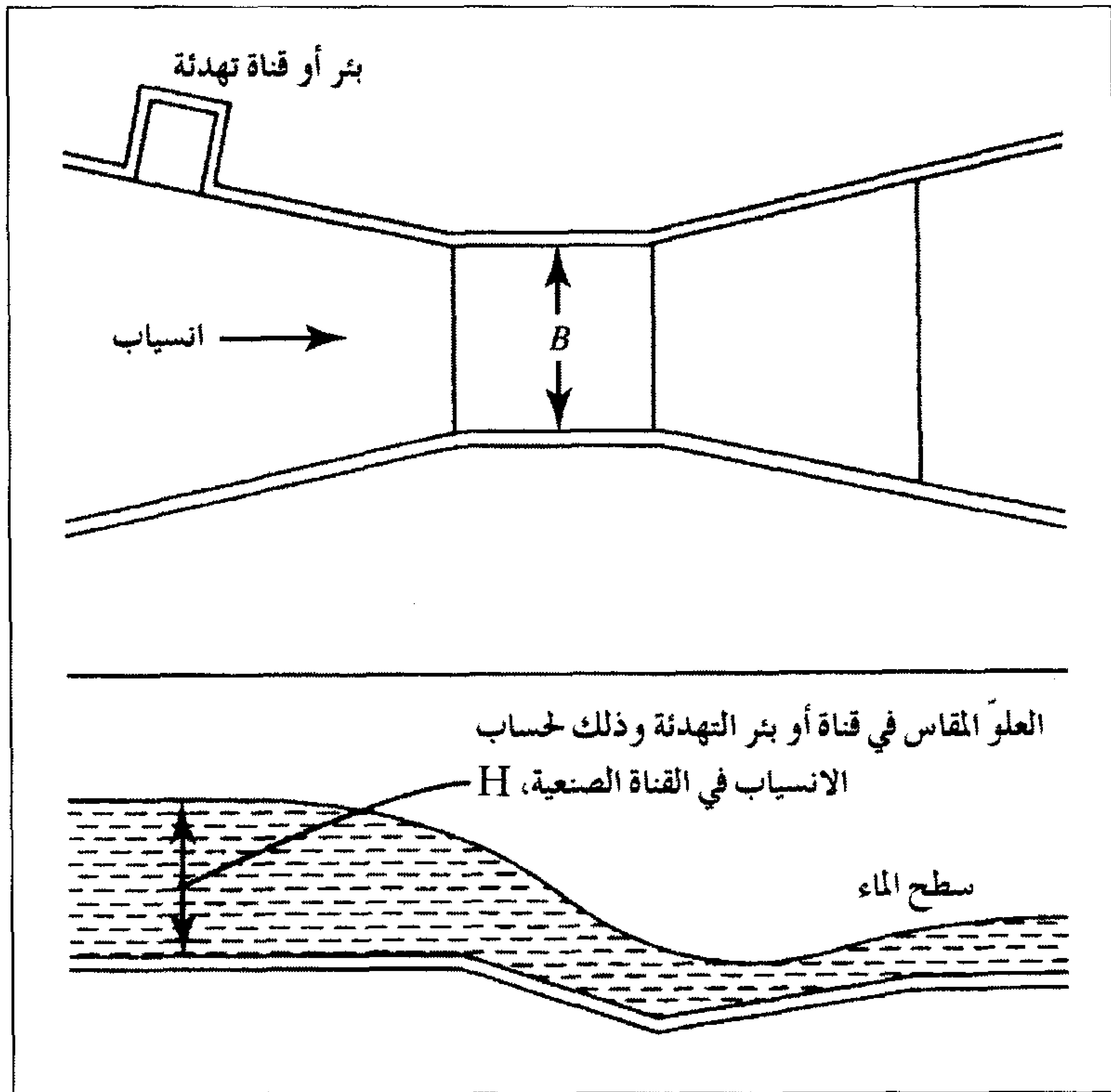
حيث:

Q = كمية الانسياب، (cu ft/sec)

B = عرض العبر الضيق، ft

H = علو مرتفع، ft

تتوفّر قنوات بالمار باولز (Palmer-Bowlus Flumes) الصنعية الموصوفة في الفقرة 3-10 تجارياً، وتُركّب عادةً في منتصف مقطع أنابيب المجارير وذلك لقياس الانسياب القادم من أجزاء من نظام جمع مياه الصرف أو من تصاريف مياه صرف صناعية منفردة. بينما لا يُمكن تركيب قنوات بارشال الصنعية في منتصف مقطع أنابيب المجارير بهدف قياس الانسياب.



شكل 4-29: قناة بارشال الصنعية لقياس الانسياب في قناة مفتوحة

مثال 4-14

يبلغ عمق الانسياب المقاس في قناة أعلى التيار لقناة بارشال ذات ممر ضيق عرضه 4.00 ft، .18.0 in. احسب كمية الانسياب.

الحل

باستخدام المعادلة 4-23

$Q = 4\times4.00\times1.50^{1.522\times4.00^{0.026}}$=30.0cu ft/sec.

11-4 كمية الجريان العصفي

تحدد العلاقة التالية طريقة الحصص المتساوية لحساب كمية الجريان لتصميم المجاري العصفية.

$Q = CIA$ **(24-4)**

حيث:

Q = كمية المعدل الأقصى للجريان، (cu ft/sec)

C = معامل الجريان تبعاً لنمط وخصائص السطح، جدول 4-4

I = متوسط كثافة الهطول المطري، لمدة الهطول المطري الأقصى لتردد هطول محدّد، بحيث يكون هذا التردد مساوياً للزمن اللازم لكامل منطقة الصرف كي تساهم بالانسياب، in/sec

A = مساحة منطقة الصرف، acres

وتصبح المعادلة 24-4 في الجملة المترية SI كالتالي:

$Q = 0.278\ CIA$ SI (الجملة المترية) **(25-4)**

حيث:

Q = كمية المعدل الأقصى للجريان، m^3/sec

C = معامل الجريان، جدول 4-4

I = متوسط كثافة الهطول المطري، mm/h

A = مساحة منطقة الصرف، km^2

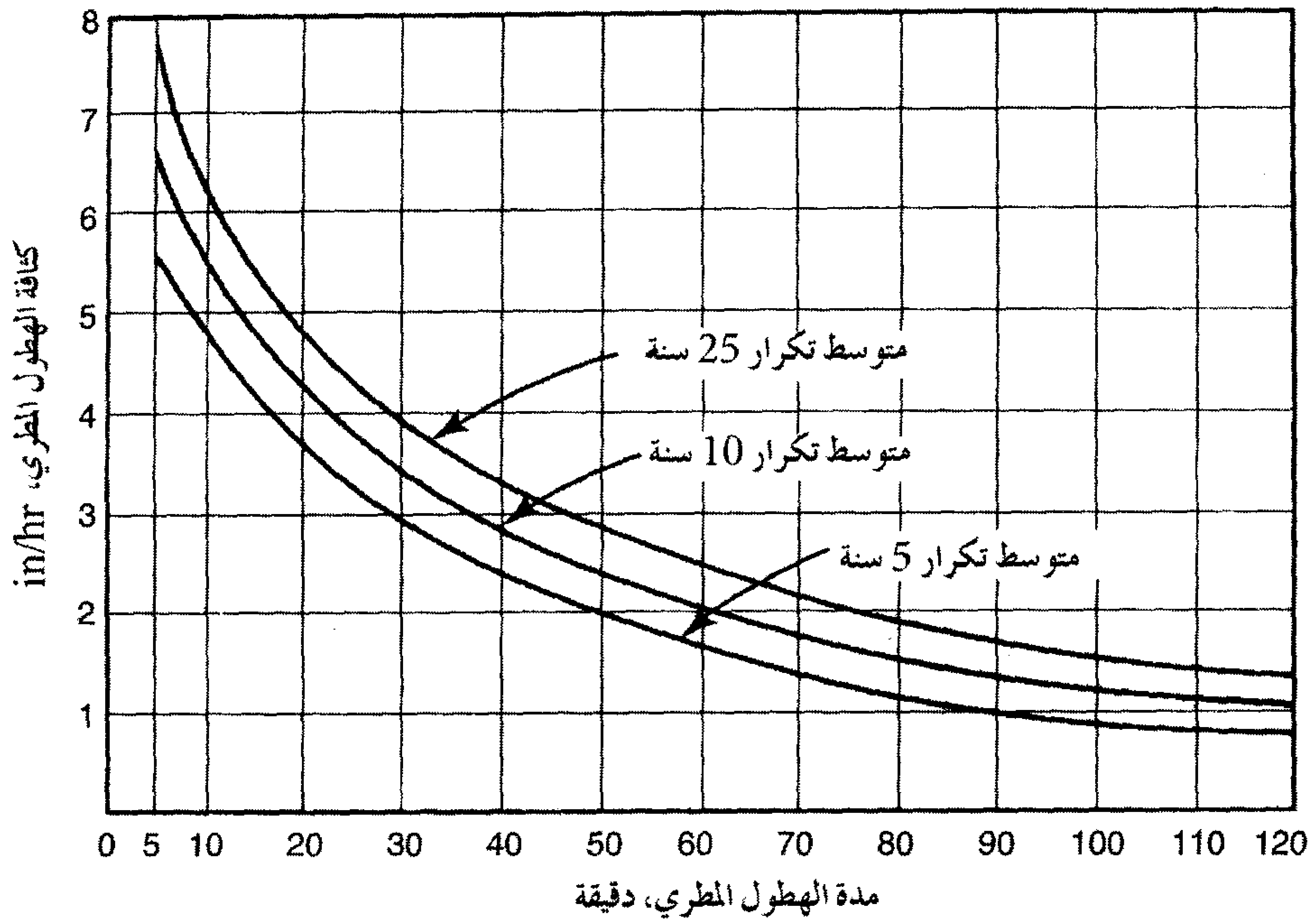
جدول 4-4: معاملات الجريان لطريقة الحصص المتساوية، المعادلات 4-24 و4-25 لمساحات وأنماط سطوحٍ متنوعة

الوصف	المعامل
منطقة أعمال تبعاً للكثافة	0.70 إلى 0.95
مناطق سكن منزلي وشقق	0.50 إلى 0.70

مناطق تقطنها عائلة واحدة	0.30 إلى 0.50
حدائق، مقابر، ساحات لعب	0.10 إلى 0.25
شوارع معبدة	0.80 إلى 0.90
أسقف كتيمة للمياه	0.70 إلى 0.95
مروج، تبعاً لانحدار السطح وخصائص ما تحت التربة	0.10 إلى 0.25

ويمكن للهطول المطري أن يُعترض بالغطاء النباتي، أو يُحتجز في المنخفضات السطحية حيث يتبخر، أو يرشح متخللاً التربة أو يجري على سطح الأرض إلى مناطق بعيدة. إن معامل الجريان هو ذلك الجزء من الهطول المطري الذي يساهم في الجريان السطحي من منطقة صرف محدّدة. تظهر المعاملات المعطاة في الجدول 4-4 أن معظم المطر الهاطل على مناطق معبّدة ومناطق العمران يجري على السطح، بينما تحتفظ المساحات المفتوحة ذات السطوح العشبية بمعظم ماء المطر. وتُحسب مساحات الصرف عبر مسحها ميدانياً أو بقياسها على الخرائط.

إن المتحول الأكثر تعقيداً في معادلة الحصص المتساوية هو كثافة الهطول المطري. يقوم مكتب الطقس الأمريكي (US Weather Bureau) بتشغيل وصيانة أجهزة تسجيل تقوم أوتوماتيكياً برسم مخططات معدّلات الهطولات المطرية مقابل الزمن. ويمكن جمع هذه البيانات وتنظيمها إحصائياً في منحنيات كثافة الهطول – مدة الهطول كتلك الموضحة في الشكل 4-30. وفي ما يلي عرض لكيفية قراءة هذا المخطط: فمن أجل عاصفة دامت 30 دقيقة، سيكون المتوسط الأقصى للهطول المطري المتوقع مرة كلّ 5 سنوات هو 2.9 in./hr، والهطول المتوقع بتواترٍ قدره مرّة كلّ 25 سنة هو 3.9 in./hr.



شكل 4-30: منحنيات نموذجيّة لكثافة الهطول المطري-مدة الهطول المُستخدمة في طريقة الحصص المتساوية لحساب كمية جريان مياه العواصف

وبالرغم من أن المنحنيات طريقة مألوفة لعرض معلومات الهطول المطري، إلا أنه قد تمّ تطوير معادلات للهطولات لأجزاءٍ متعدّدةٍ من الولايات المتحدة. ففي التصميم، يستخدم تواتر عاصفة كلّ 5 سنوات في المناطق السكنية، وعاصفة كلّ 10 سنوات في قطاعات الأعمال، وعاصفة كلّ 15 سنة في المقاطعات ذات القيم المرتفعة حيث تتسبب الفيضانات بأضرارٍ معتبرة بالممتلكات.

يعتمد مدة الهطول المطري المُستخدم للدخول في الشكل 4-30 على زمن التركيز على حدود الفصل المائي، وهو الزمن اللازم كي يتطور معدّل جريان أعظمي خلال هطول مطرٍ متجانس ومستمر، أو بكلماتٍ أخرى هو مدة الهطول المطري اللازمة كي يقوم حدّ الفصل المائيّ بكامله بالمساهمة في الجريان. فإذا تمّ صرف الماء من جزء من المنطقة المدروسة باتجاه مدخل مجارير العواصف حيث يمر عبرها، فإن زمن

التركيز سيساوي زمن الدخول مُضافاً إليه زمن الانسياب في الأنبوب. يتراوح زمن الدخول بين 5 و20 دقيقة وذلك تبعاً لخصائص منطقة الصرف، بما في ذلك مقدار مساحة المروج، وانحدار ميازيب الطريق، وتباعدات مداخل الصرف في الشوارع. ويظهر الشكل 4-15 تطبيقاً لمعادلة الحصص المتساوية.

مثال 4-15

احسب قطر مجرور المصب اللازم لصرف مياه عصفية من حدّ الفصل المائيّ الموصوف في الشكل 4-31 ، والذي يوفّر في مقدار أطوال الأنابيب المُستخدمة، ومساحات الصرف، وأزمنة الدخول. افترض الآتي: يبلغ معامل الهطول المطري 0.30 لكامل المنطقة، ومنحني تكرار كلّ 5 سنوات من الشكل 4-30 وسرعة انسياب تام قدرها 2.0 ft/sec في المجارير.

الحل

زمن الانسياب من فتحة 1 إلى فتحة 2

$$= \frac{400\,ft}{\frac{2\,ft}{\sec} \times \frac{60\sec}{\min}} = 3.3\ \min$$

زمن الانسياب من فتحة 2 إلى فتحة 3

$$= \frac{600\,ft}{2 \times 60} = 5\ \min$$

إن أزمنة التركيز من نقاط بعيدة واقعة في المناطق المنفصلة الثلاث إلى الفتحة 3 تساوي 5.0 + 3.3 + 5.0 = 13.3 min للمنطقة 1، وتساوي 5.0 + 3.3 = 8.3 min للمنطقة 2، و8.0 د فقط (فقط زمن المدخل) للمنطقة 3. وبدخول الشكل 4-30 بزمن أقصى للتركيز (مدة الهطول المطري) حدّ الفصل المائيّ قدره 13.3 min، فستكون كثافة الهطول المطري I 4.4 in./hr لفترة تكرار 5 سنة.

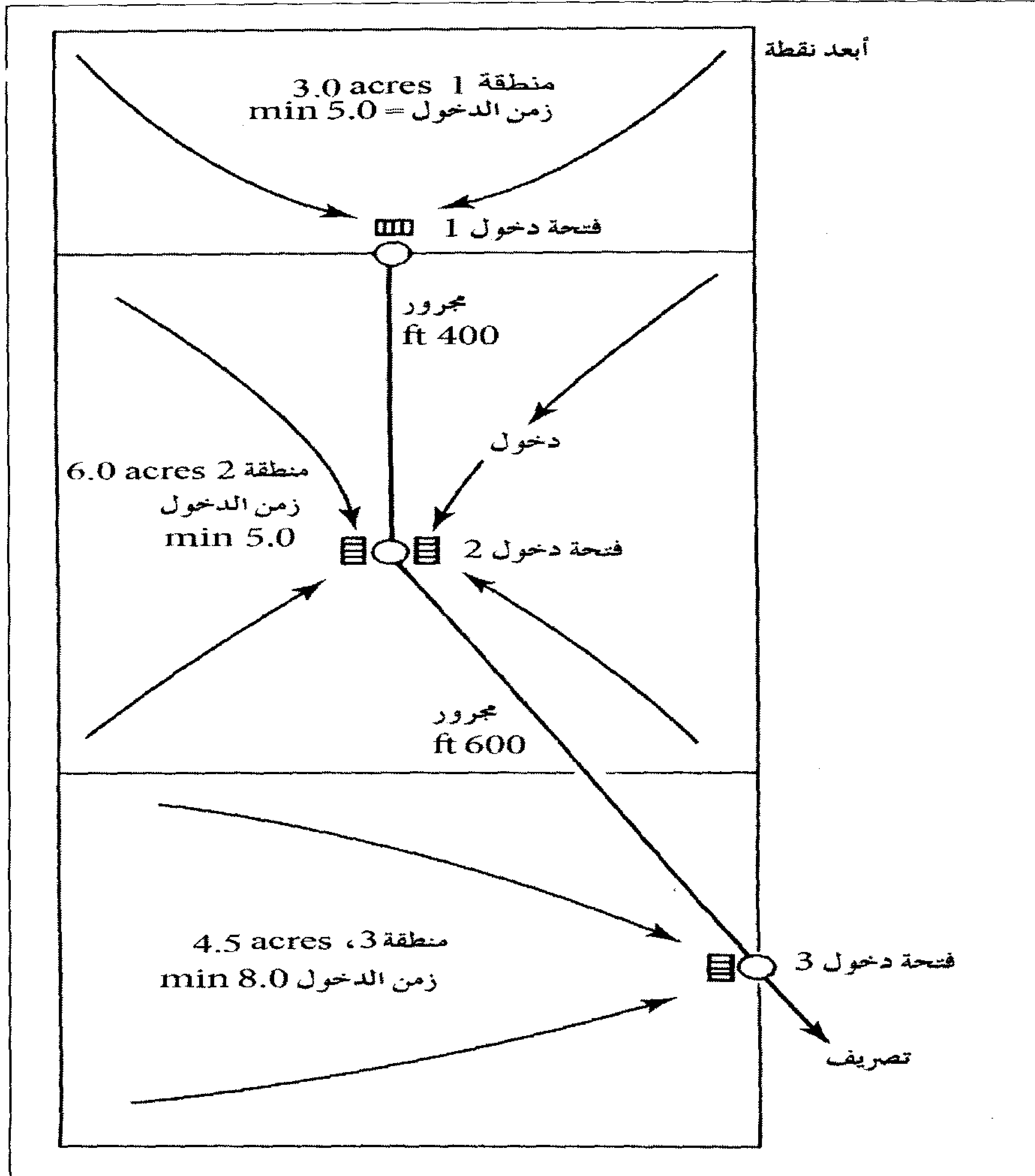
مجموع قيم CA

$$= 0.3 \times 3.0 + 0.3 \times 6.0 + 0.3 \times 4.5 = 4.1$$

وبالتعويض في المعادلة 4-24

$$Q = 4.4 \times 4.1 = 18 \text{ cu ft/sec (acre-in. /hr)}$$

ومن أجل Q = 18 cu ft/sec (8080 gpm) وV = 2.0 ft/sec، ومن الشكل 4-23 فإن قطر المجرور المطلوب هو .42 in مُدّد على منحدر 0.0004 ft/ft.



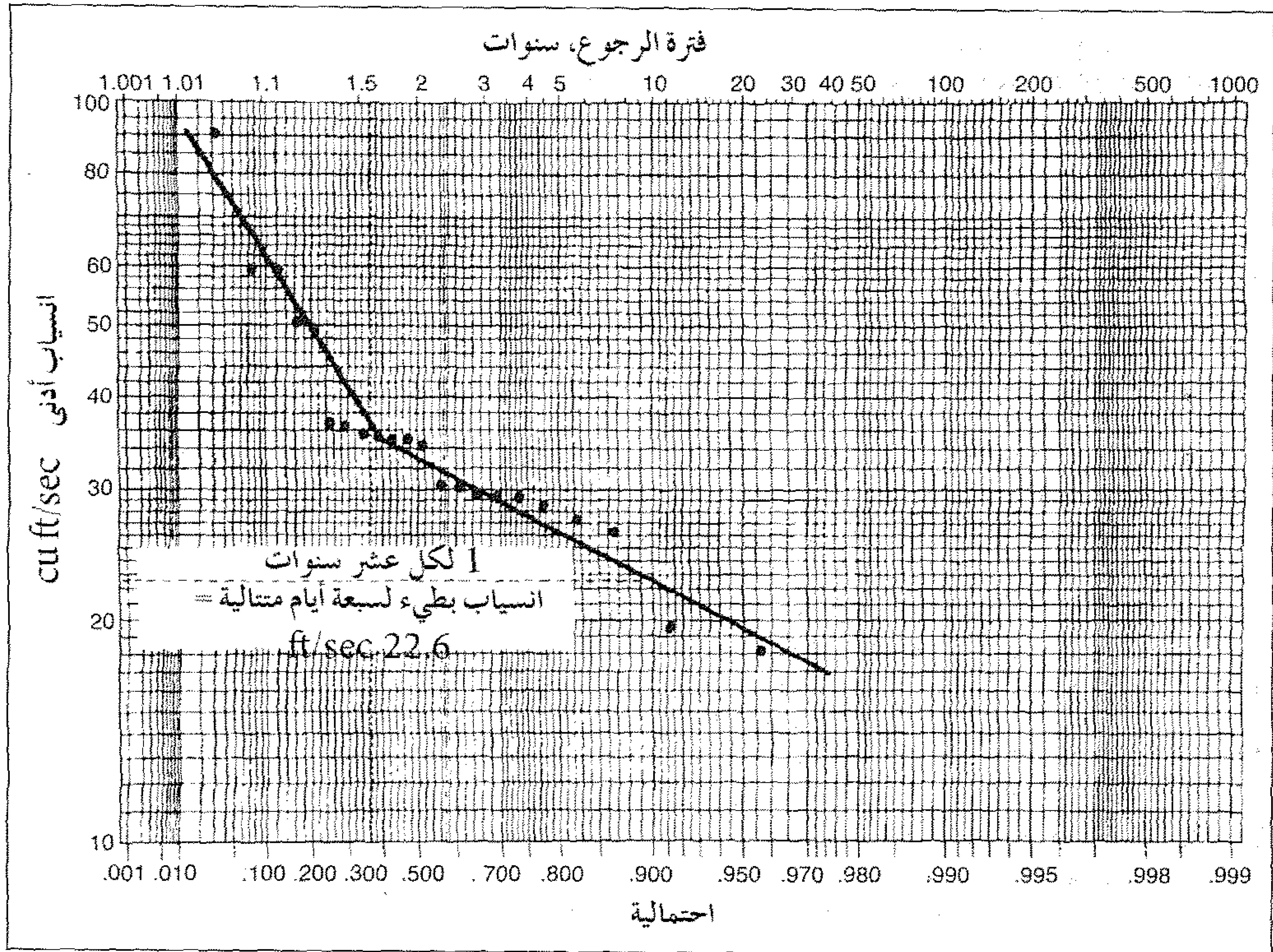
شكل 4-31: حدّ الفصل المائيّ للمثال 4-15 يمثّل حسابات جريان عصفي باستخدام طريقة الحصص المتساوية

12-4 الانسياب في الجداول والأنـهار

لقد أنشأت عدّة وكالات حكوميّة محطات قياس دائمة على الجداول والأنـهار عبر كامل الولايات المتحدة، بما فيها رابطة المهندسين، ومكتب الاستصلاح، ومصلحة المحافظة على التربة، والمسح الجيولوجي. تتضمّن تجهيزات القياس النموذجيّة بئراً ساكنة متصلة بالنهر بواسطة أنبوب سحب مع جهاز تسجيل لمنسوب الماء يعمل بواسطة عوامة موضوعة في مكانٍ واقٍ فوق البئر. تقوم ذراع ميكانيكيّة، ملامِسة لمستوى النهر وتنتهي بقلم، بتسجيل مستمرّ لمنسوب النهر على أسطوانة من الورق تعمل بآليةٍ زمنيّة. وفي بعض الحالات، يُشيد عبر الجدول سدّ متحرّك لرفع منسوب الماء بهدف تأمين دقّة قياس عند تدني الانسياب، ولكن غالباً ما يتمّ تطوير منحنيات تقدير الانسياب في مجاري الأنهار الطبيعية. يتمّ جمع البيانات لمنحني السدّ المتحرّك باستخدام قياسات عدّاد التيار لتصاريف مختلفة للتيار. تُحمّل على مخطط بياني قيم مناسيب الماء خلال فترة المسح مقابل مقادير الانسياب المقاس. ينبغي إعادة فحص منحنيات التقدير دورياً للأخذ بالاعتبار أيّ انحرافات قد تنجم عن الترسيب أو تراكم النفايات. يتمّ تحويل قراءات السدّ المتحرّك المستمرّة المسجّلة على الورق البياني إلى متوسط الانسياب اليومي باستخدام منحنيات التقدير والتي يتمّ جدولتها وطباعتها تحت عنوان "تسجيلات المياه السطحية" وتوزّع على المكتبات والوكالات الحكومية المهتمة.

ولانسياب الجداول أهميّة كبيرة في قضايا تلوّث المياه. نظراً إلى أن تدفّقات مياه الصرف المعالجة غالباً ما تطرح في الأنهار والجداول حيث يتمّ تخففيها، والأمر الأكثر أهميّة هو تلك الانسيابات عندما تكون كمية التخفيف أقلّ ما يمكن. يقدّم نظام تصنيف الجداول لمعايير نوعيّة الماء التراكيز القصوى المسموحة للملوّثات، فمثلاً تمّ تحديد مستوى أقصى مسموح به للأمونيا نتروجين في جداول

الماء الدافئة قدره 3.5 mg/l. وينبغي أن تتوافق هذه المعايير مع كمية محدّدة من الجريان لتقدير كمية الملوّثات التي يمكن طرحها في المجرى المائي دون تجاوز تركيز الملوّثات المحدّد. إن قيمة .in 1 في 10 سنوات لتيار منخفض وضعيف على مدى 7 أيام متتالية هي القيمة التي تمّ اعتمادها. أما إن كان جريان الجدول متقطعاً فإن الشروط الحرجة ستكون في فترة الجفاف بالطبع.



شكل 4-32: مخطط بياني للانسيابات الدنيا السنوية مأخوذة من الجدول 4-6 على مرق لوغاريتمي احتمالي وذلك لتقدير 1 إنش كلّ 10 سنوات على مدى 7 أيام متتالية لانسياب أدنى

يستخدم الإجراء التالي لتطوير منحنى تكرار لانسيابات متدنية لمدة 7 أيام وذلك لتقدير قيمة .in 1 في 10 سنوات. لقد جمعت كلّ تسجيلات التصريف اليوميّة لمحطات القياس الواقعة على الجدول قيد التقدير. وبعد مسح بيانات كلّ سنة، يتمّ تحديد الأيام السبعة الأقلّ انسياباً ويؤخذ متوسطها الحسابي. ويتم وضع قوائم لهذه القيم سنةً بسنة، كما هو موضّح في الشكل 4-5. وتستخدم الطريقة الإحصائية التالية

الموضّحة في الجدول 4-6 والشكل 4-32 لحساب ورسم منحني التكرار من قيم الانسياب المنخفض السنوية.

1-رتب الانسيابات الدنيا السنوية من السجلات التاريخية وفق قوتها أيّ بدءاً من الانسياب الأعلى باتجاه الأدنى.

2-خصص رقم متسلسل m لكل من قيم n ،1، 2، 3، 4 ....n

3-احسب موضع احتمالية موقع كلّ قيم متسلسلة كـــ m مقسومة على n + 1.

4-حمّل قيم الانسياب على المقياس اللوغاريتمي الشاقولي، وقيمة الاحتمالية المرتبطة بها على المحور الأفقي.

5-ارسم أفضل خطّ ملائم عبر البيانات الموقّعة.

يُقرأ منحني الكرار في الشكل 4-32 عبر دخول الشكل البياني إما من أعلاه أو من أسفله والذي يمثّل فترة التكرار أو الاحتمالية، ومن ثم قراءة الانسياب الأدنى الموافق على المقياس الشاقولي. ولمدة عشر سنوات أو احتمالية 90% يكون الانسياب الأدنى 22.6 cu ft/sec وبكلمات أخرى خلال فترة 7 أيام كلّ 10 سنوات، إن أدنى معدّل انسياب لهذه الأيام السبعة يتوقع أن يكون 22.6 cu ft/sec ولا يوجد أيّ سبعة أيام أخرى ذات انسياب أقل. ويتوقع أن يكون 90% من الانسيابات خلال فترة الأيام السبعة أكبر من القيمة المشار إليها. لقد استخدم ورق احتمالية لوغاريتمي، نظراً إلى كون القيم الهيدرولوجية المتطرّفة للفيضانات والجفاف، غير متماثلة ولا تتبع توزّعاً متناظراً. يشير الانكسار في الخط المرسوم في الشكل 4-32 إلى عدم حدوث انسيابات الجفاف خلال 5 سنوات، عندما كانت الانسيابات الدنيا أكبر من 40 cu ft/sec. إن أهميّة فهم فكرة الانسيابات الدنيا لتخفيف مياه الصرف تتمثّل بحقيقة أن معدّل الانسياب في هذا الجدول عبر هذه الفترة من التسجيلات كانت 178 cu ft/sec. فإذا ارتكزت قدرة هضم مياه الصرف على معدّل الانسياب أكثر من ارتكازها على الانسياب الأدنى المحسوب، فسيحدث تلوّث واسع للجدول على مدىً زمنيّ معتبر. ومن ناحية أخرى، فإنّه وباستخدام الانسياب اليومي الأدنى والذي يبلغ في هذه الحالة 18.1 cu ft/sec، فإن ذلك سيؤدي إلى محافظة مفرطة برأي الكثير من السلطات.

جدول 4-5-4: قائمة بتسجيلات انسياب جدول تُبين أدنى متوسط تصريف لسبعة أيام متتالية في كلّ عام من 1961 حتى 1982 (*)

السنة	أدنى متوسط انسياب مقدراً بـــ cu ft/sec لسبعة أيام
1961	19.6
1962	28.6
1963	18.1
1964	34.3
1965	29.3
1966	35.7
1967	35
1968	27
1969	35
1970	36.9
1971	90.3
1972	50.6
1973	35.3
1974	59.4
1975	26.3
1976	30.1
1977	29.4
1978	29.7
1979	30.4
1980	49.6
1981	36.6
1982	59.1

(*) كان معدّل التصريف السنوي لهذه الفترة 178 cu ft/sec.

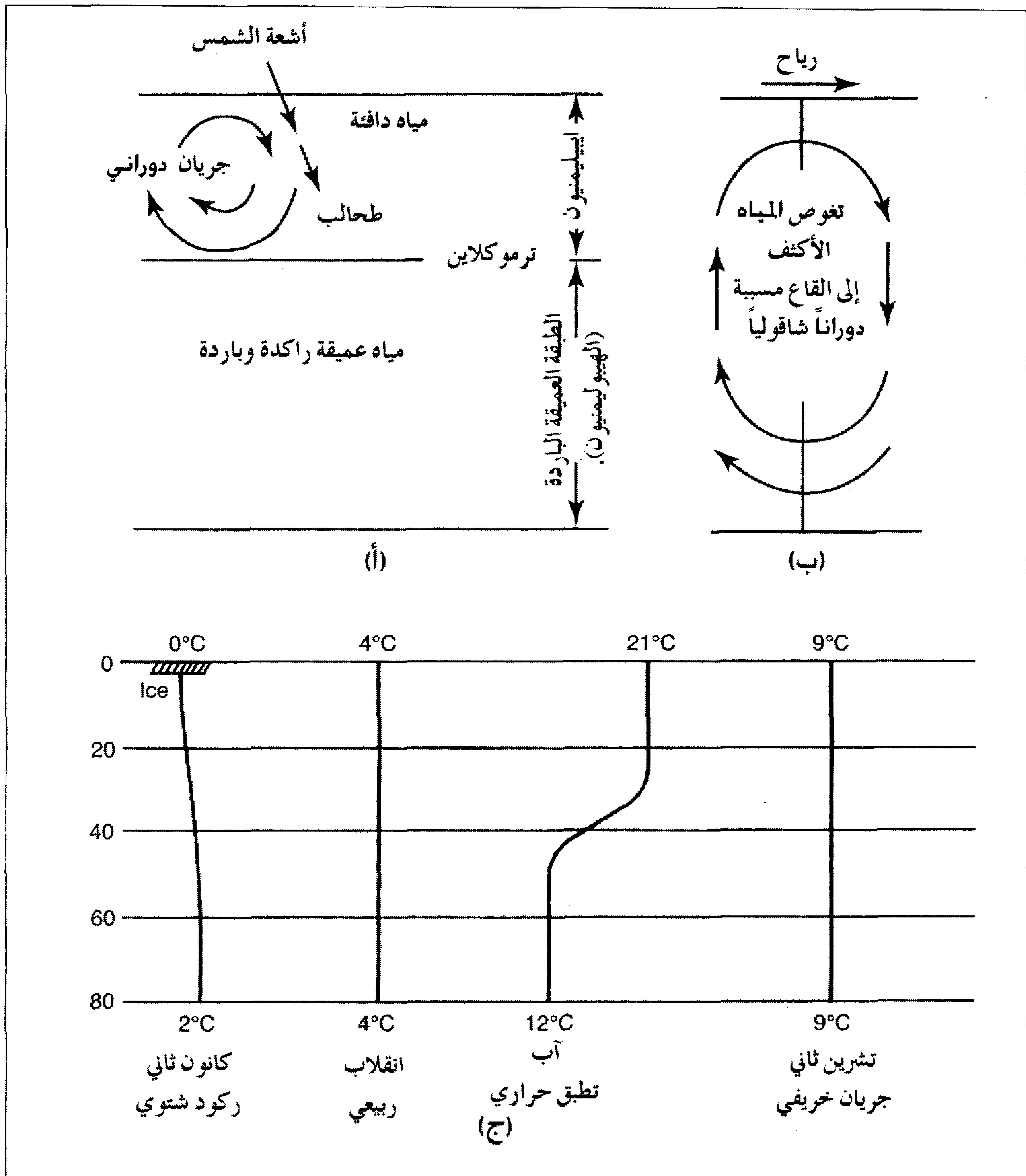
جدول 4-6: بيانات انسياب الجدول من الجدول 4-5 مرتبة وفق التقدير الإحصائي الموضّح في الشكل 4-32

أدنى انسيابات مرتبة وفق قوتها	الرقم المتسلسل	$\frac{M}{N+1}$
90.3	1	$\frac{1}{23}$ = 0.0435
59.4	2	$\frac{2}{23}$ = 0.087
59.1	3	0.130
50.6	4	0.174
49.6	5	0.217
36.9	6	0.261
36.6	7	0.305
35.7	8	0.347
35.3	9	0.390
35.0	10	0.435
35.0	11	0.477
34.3	12	0.520
30.4	13	0.565
30.1	14	0.605
29.7	15	0.650
29.4	16	0.695
29.3	17	0.740
28.6	18	0.782
27.0	19	0.825
26.3	20	0.870
19.6	21	0.912
18.1	22 = n	0.955

13-4 هيدرولوجيا البحيرات والخزّانات

إن المتحوّلات المُستخدمة لتحديد خصائص بحيرة ما هي مساحتها ومتوسط عمقها، وحجمها، وزمن مكوث الماء فيها (الحجم مقسوماً على انسياب الرافد المتدفّق)، ولون وعكورة الماء، والتيارات، والأمواج السطحية، والعلاقات الترموديناميكية، والتطبق. كلّ هذه المتحوّلات تؤثّر على كيمياء وأشكال الحياة في البحيرة أو الخزّان المائي ومن ثم على نوعيّة الماء. والتطبّق الحراري هو الظاهرة الأكثر أهميّة فيها واضعين بالحسبان التجهيز بالماء والتغذية. ويكون للبحيرات في المناطق المعتدلة أو الواقعة على خطوط عرض عالية في المناطق شبه الاستوائية دورانان، الأول في الربيع والثاني في الخريف. ويكون التطبّق الحراري في الشتاء معكوساً، بينما يكون اعتيادياً في الصيف. وتكون البحيرات الواقعة على خطوط عرض أدفأ، والتي لا تنخفض درجة الحرارة فيها عن $4^{\circ}C$ على أيّ عمق كان، ذات دوران واحد فقط كلّ سنة في الشتاء، وتتطبق بشكلٍ اعتيادي خلال الصيف. فمثلاً يمكن لبحيرة أن تتطبق مياهها من أيار إلى أيلول وقد تكون في دوران باستمرار من تشرين أول إلى نيسان.

ويمكن تحديد المواسم في البحيرة بيانياً بمخططات الشكل 4-33، وفي الشتاء يغوص الماء الأعلى كثافة نحو الأسفل ويبدأ الجليد بالتشكّل قرب الدرجة $0^{\circ}C$ مغطياً أجزاءً من سطح الماء. والكثافة القصوى للماء النقي هي$4^{\circ}C$. يعيق الظل الناتج عن الثلج والجليد عملية التركيب الضوئي، وإذا كانت البحيرة غنية بالمواد العضويّة، فسيزداد الأكسجين المُذاب قرب قاع البحيرة تدريجياً. وفي الربيع بعد ذوبان الثلج يدفأ الماء لتصبح حرارته $4^{\circ}C$ ويبدأ بالهبوط بينما يصعد مياه القاع الأقلّ كثافة.



شكل 4-33: التطبّق الحراري وجريان الماء في بحيرة ثنائية الانقلاب شمال الولايات المتحدة، (أ) تطبق حراري خلال أواخر الصيف، (ب) الانقلاب الربيعي والخريفي. (ج) بروفيل حراري يظهر التطبّق والاختلاط

تخلط تيارات الحملان هذه بمساعدة الرياح، مياه البحيرة لبضعة أسابيع بينما تزداد درجة حرارة مياه البحيرة، ويدعى هذا بالانقلاب الربيعي أو الدوران الربيعي. ومع اقتراب الصيف، تسخن المياه السطحية على نحوٍ أسرع وتفتر الرياح

الربيعية اللطيفة وتتشكّل طبقة سطحية أخفّ. ومع تقدّم الصيف تزداد مقاومة اختلاط طبقات الماء العليا والسفلى متباينتي الكثافة ويترسّخ التطبّق الحراري. يستمر اختلاط الطبقة السطحية الدافئة التي تدعى إيبيليمنيون (Epilimnion) بتأثير الرياح وتيارات الكثافة ما يعزز نمو الطحالب. وتكون الطبقة العميقة الباردة التي تدعى هيبوليمنيون (Hypolimnion) داكنةً وراكدةً. وبالرغم من أن الغالبية الساحقة لغذاء الأسماك توجد في إيبيليمنيون، إلا أن كثير من الأجناس يجد مياه الأعماق الباردة بيئةً أكثر ملائمة.

وفي الأحواض المائيّة الغنية بالمواد المغذية يزداد محتوى ثاني أكسيد الكربون، وقد يصبح خالياً من الأكسجين المُذاب بعد بضعة أسابيع من التطبّق الحراري. الانحدار الحراري (Thermocline) هو نطاق رقيق بين طبقات الماء تنخفض فيه درجة الحرارة بشكلٍ سريع. إن اقتراب الخريف بأيامه القصيرة والباردة يجعل البحيرة تفقد حرارتها على نحوٍ أسرع من امتصاصها لها. وعندما تبرد مياه البحيرة وتغدو كثافتها أعلى من كثافة مياه الطبقة العميقة الباردة (الهيبوليمنيون)، تتسبب تيارات شاقوليّة بجريان خريفي. ويعزز هذا الاختلاط فعل الرياح إلى أن تستقر المياه الأكثف في القاع ليتجمّد بالتالي سطح الماء. إن للتطبق الحراري في البحيرات والتجمّعات المائيّة تأثيراً مباشر على نوعيّة التجهيز بالماء. ففي الصيف تكون المياه المسحوبة قرب السطح دافئة وقد تحوي طحالب تتسبب بانسداد المرشحات وبظهور مشاكلٍ في طعم ورائحة المياه. وقد تكون مياه الطبقة العميقة الباردة (الهيبوليمنيون) الراكدة خاليةً من الأكسجين المُذاب وغنيةً بثاني أكسيد الكربون، وقد تحوي منتجات ظروف لاهوائية ككبريتيد الهيدروجين ومواد عضوية كريهة الرائحة أو حديد مُرجَع. وتوفّر الطبقة الواقعة أسفل الترموكلاين عادةً أكثر نوعيات المياه ملائمةً خلال فترة التطبق. وخلال فترة الركود الشتائي، تصبح المياه القريبة من السطح مرغوبةً أكثر نظراً إلى أن النوعيّة القريبة من القاع تكون سيئةً نتيجة تماسها مع المواد العضويّة المتحلّلة. تمثّل التغيّرات الشاقوليّة في جسمٍ مائي أهمية توفّر برج سحب مياه مع فتحات على أعماق مختلفة بحيث يمكن

سحب تجهيز الماء من المستوى الأكثر ملائمة من عمود الماء. يتسبّب جريانا الربيع والخريف بخلط المياه، الأمر الذي يتسبّب بتوزّع أيّ مادة غير مرغوبة عبر كامل البروفيل المائي. وقد يتطلب الأمر تكثيف معالجات ضبط الطعم والرائحة، ويحدث هذا الاختلاط عملياً في الخريف عندما تختلط الطحالب المتحلّلة مع مياه القاع اللاهوائية.

14-4 هيدرولوجيا المياه الجوفية

تتشكّل المياه الجوفية من خلال رشح الهطول المطري، وذوبان الثلوج وانسياب الجداول والبحريات والخزّانات. يخلّف تغلغل الماء شاقولياً نحو الأسفل عبر التربة القريبة من السطح، وراءه طبقةً رقيقةً من الماء فيها تغلف حُبيبات التربة يُشار إليها بمصطلح رطوبة التربة. ومن المحتمل دخول الماء إلى نطاق الإشباع حيث تمتلئ مسامات التربة أو الصخر المشقّق بالماء. يدعى سطح نطاق الإشباع منسوب الماء ويوصف عمقه بمنسوب الماء الحر الموجود في بئر مراقبة يمتدّ ضمن نطاق الإشباع. يمكن لمنسوب الماء أن يتأرجح صعوداً وهبوطاً بتأثير الإمداد الموسمي بالماء وبالاحتياج إلى المياه الجوفية. يتحكم التدرّج الهيدروليكيّ بالحركة الأفقيّة للمياه حيث تنساب إلى الأسفل مع قليل من الاختلاط الشاقولي.

إن مساميّة تربة أو صخر مشقّق تعبير لحجم الفراغات حيث تتحدد كالتالي:

$$n = \frac{Vv}{V} \qquad (26-4)$$

حيث

n = المساميّة

V_v = حجم الفراغات

V = الحجم الكلي

تتراوح القيم النموذجيّة للمساميّة في الرمل والحصى بين 0.2 و0.4 تبعاً لحجم الحبات وتوزّعها ودرجة التراص، وتتراوح بين 0.1 و0.2 في الحجر الرملي،

و0.01 و0.1 في السجيل والحجر الكلسي تبعاً للنسيج وحجم الشقوق. عندما تسيل المياه الجوفية من الحامل المائي نتيجة تدني مستوى الماء فيه، فإن بعض الماء يبقى في الفراغات، وكمية الماء التي نزحت هي المردود النوعي أو المساميّة الفعالة، وكمية الماء المتبقي هي الاحتجاز النوعي. يتراوح المردود النوعي في توضعات الحصى الرملية اللحقية بين 90 و95%. فمثلاً إن كانت مساميّة رمل خشن تساوي 0.40 ومردود نوعي قدره 90%، فإن حجم الماء النازح cu ft من الحامل المائي يحسب كما يأتي: 0.36 cu ft = 0.90 x 0.40 من الماء.

وتعرف الحوامل المائية بأنها طبقات جيولوجيّة نفوذة تنقل المياه الجوفية. وتتصرّف كحوامل مائية، يصرف الماء منها بتأثير الثقالة أو بالضخ البئري، وتُغذّى برشح الماء. ومن الحوامل الشائعة ركام الوديان المكوّن من رمل وحصى وسلت مجاورة للجداول، ومن توضعاتٍ حُبيبية على امتداد السهول الساحلية، ومن رسوبات طمييّة وطفالية في السهول الداخلية، ومن توضعات منقولة مائياً ناتجة عن ذوبان الجليديات، ومن أراض ذات منشأ بركاني، ومن حجر كلسي ودولوميتي مشقّق وحجر رملي غير متماسك الملاط. وكما هو واضح في الشكل 4–34 يمكن أن تكون الحوامل المائية محصورةً أو غير محصورة. إن الحدّ العلويّ لحامل مائيٍّ غير محصور، هو مستوى الماء فيه والذي يكون حرّ الحركة إلى الأعلى والأسفل مغيراً بالتالي من نطاق الإشباع. ويُشار إلى بئر في حامل مائي غير محصور باسم بئر منسوب الماء. ومنسوب الماء المعلق هو حالة خاصة لحامل مائيٍّ غير محصور تكون فيها المياه الجوفية متموضعة فوق طبقة كتيمة نسبياً بامتداد مساحي صغير يعلو الجسم الرئيس للمياه الجوفية.

توجد الحوامل المائيّة المحصورة، والتي تسمى أيضاً الحوامل الارتوازية أو حوامل الضغط، أنّى حُصرت المياه الجوفية بواسطة طبقة كتيمة نسبياً. وترتفع المياه الجوفية في بئر محصورة بتأثير الضغط إلى المستوى البيزومتري.

والنفوذية هي قدرة وسط مسامي على نقل الماء. ويعرف معامل النفوذية K بقانون دارسي (Darcy's Law) والذي ينصّ على أن سرعة الانسياب تتناسب طرداً مع التدرّج الهيدروليكيّ.

حيث

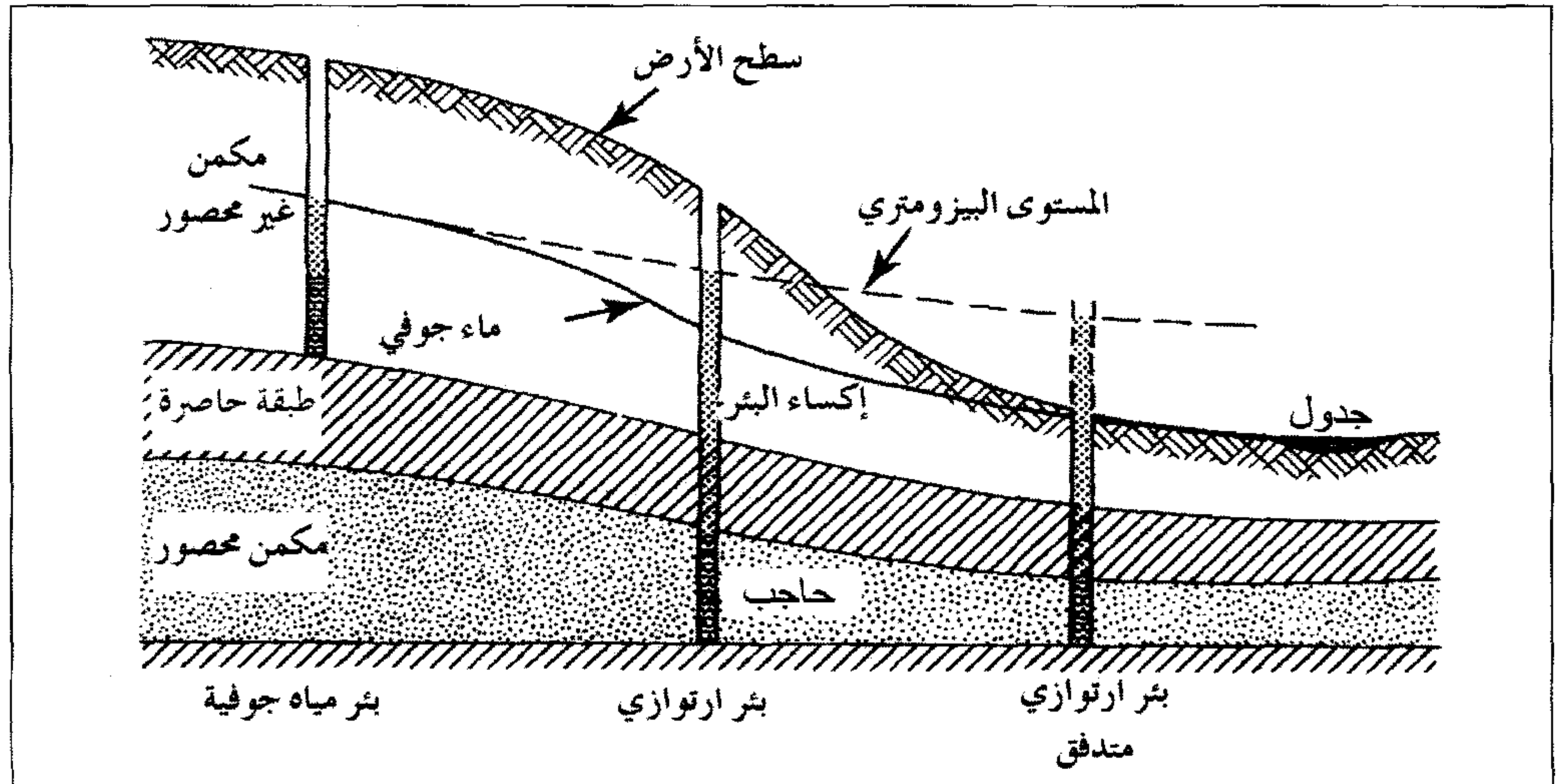
$$v = Ki \qquad (27\text{-}4)$$

v = سرعة الانسياب ft/sec أو (mm/s)

K = معامل النفوذية، ft/sec أو (mm/s)

i = تدرّج هيدروليكي، ft/ft أو (m/m)

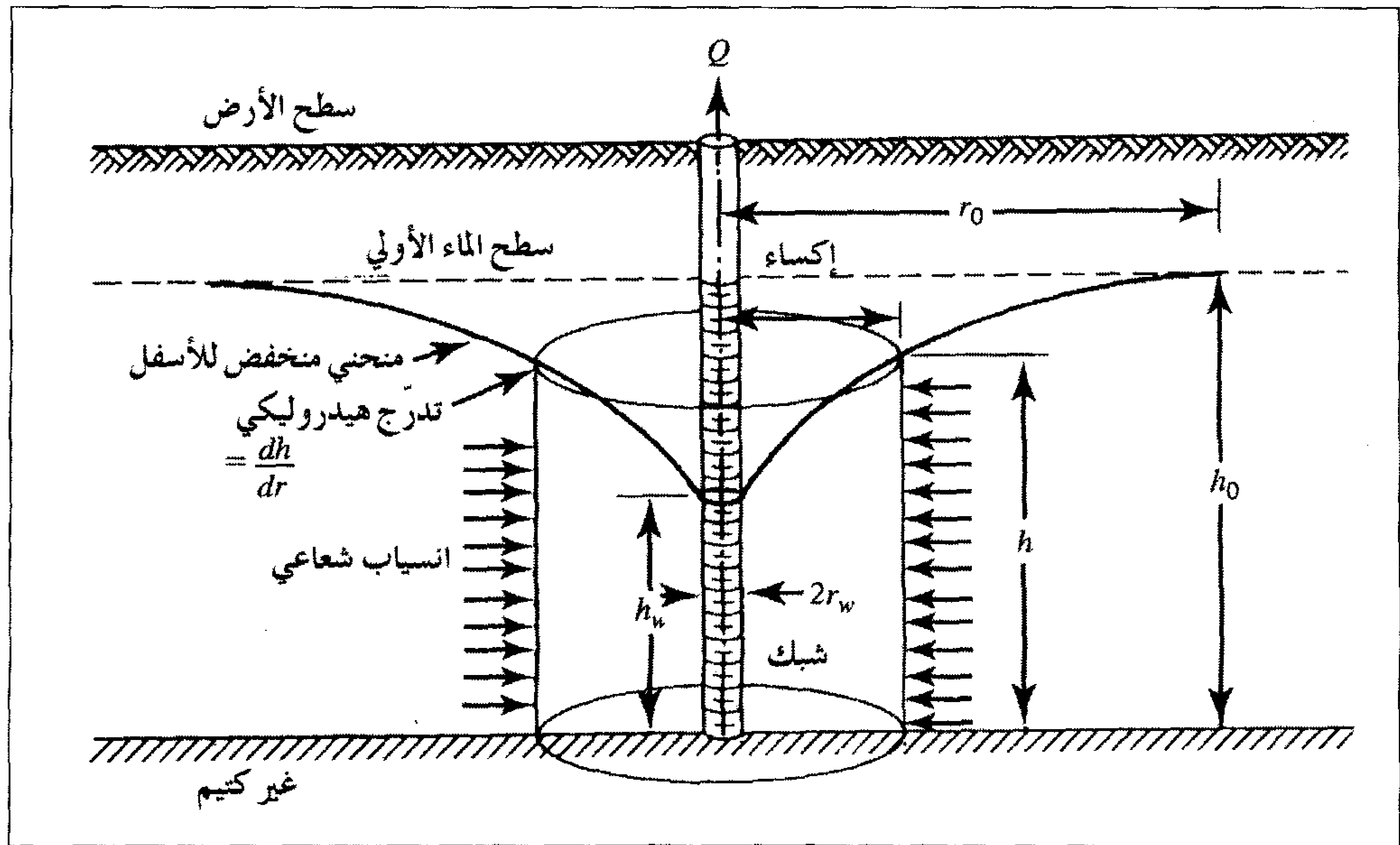
تغطي قيم K نطاقاً واسعاً يمتدّ من ما دون 10^{-5} ft/sec (0.003 mm/s) في التوضعات ناعمة الحبة إلى أكثر من 1 ft/sec (300 mm/s) للحصى الخشنة.



شكل 4-34: مقطع لمكمنين مائيين، محصور وغير محصور، يظهر مستوى الماء وآبار ارتوازية

يتم تجهيز بئر مياه نموذجي عبر حفر ثقب صغير القطر في الأرض يُحافظ عليه مفتوحاً بإدخال أنابيب إكساء. يتمّ وضع شبك ضمن البئر في نطاق الحامل

المائي ليسمح للمياه الجوفية بدخول البئر. يتمّ تعليق دفّاعات المضخة وأنبوب سحب وإدلاؤه ضمن إكساء البئر لرفع الماء وإخراجه خارج البئر. إن حركة المياه الجوفية بجانب البئر الذي يضخ الماء تعتمد على خصائص الحامل وعلى تشييد البئر. عندما يبدأ الضخّ ينجذب منسوب المياه الجوفية نحو الأسفل مشكلاً مخروطاً منخفضاً. ينساب الماء بشكل شعاعي باتجاه البئر بسعة متزايدة. واعتماداً على قانون دارسي فإنّه ينبغي أيضاً أن يزداد التدرّج الهيدروليكيّ مع اقتراب المياه الجوفية من البئر، لذا سيكون للمنحني الهابط إلى الأسفل ميلاً أشدّ انحداراً باستمرار قرب البئر. ويرتبط حجم وشكل المخروط المنخفض لبئر ما بمعدل السحب، وبمدّة الضخ، وانحدار مستوى الماء، ومصادر التغذية وخصائص الحامل المائي.



شكل 4-35: انسياب شعاعي ثابت إلى بئر مخترقاً حاملاً مائياً غير محصور نموذجي، المعادلة 4-30

يظهر الشكل 4-35 انسياباً شعاعياً ثابتاً إلى بئرٍ يخترق حاملاً مائياً غير محصور نموذجيّ. ويتحدّد الانسياب الشعاعي لحالة الاستقرار عبر سحبٍ متجانس،

بمنحن منخفض للأسفل بثبات، من خلال انسياب أفقي رقائقي متجانس للمياه الجوفية، وبسرعة انسياب تتناسب طرداً مع مماس التدرّج الهيدروليكيّ وحامل مائي متجانس. وبافتراض توفّر هذه الشروط، سيرتبط تصريف البئر بمعامل النفوذية، وعمق الحامل المائي، وشكل المنحني المنخفض للأسفل وفقاً لما يأتي:

$h_w^2 - h_o^2$

$$Q = \pi K \frac{h_0^2 - h_w^2}{log_e(r_0 / r_w)} \quad \textbf{(28-4)}$$

حيث:

Q = تصريف البئر، (cu ft/sec) (l/s)

K = معامل النفوذيّة، ft/sec (mm/s)

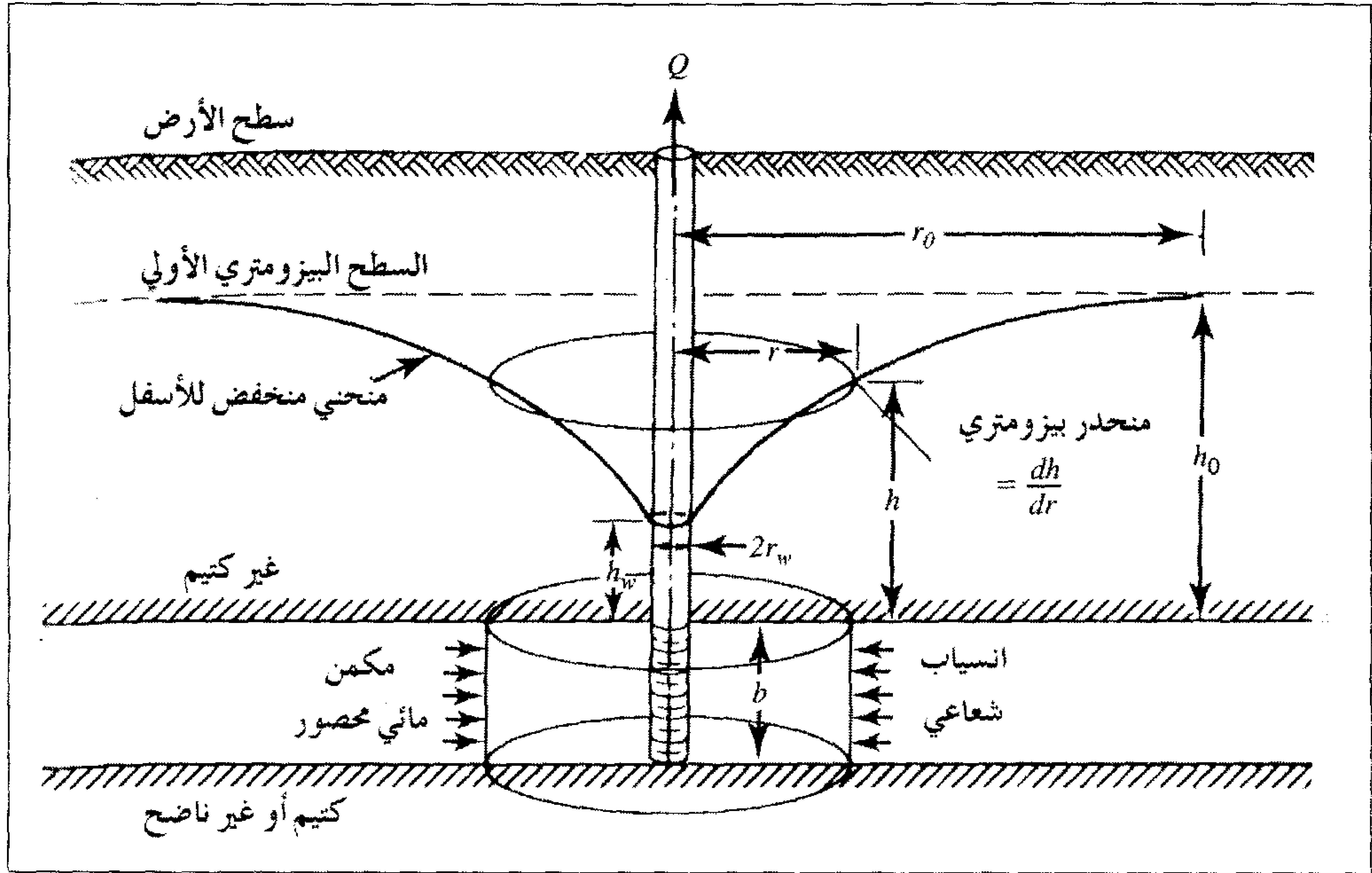
h_0 = الثخانة المشبعة من الحامل المائي، ft (m)

r_0 = نصف قطر المخروط المنخفض، ft (m)

h_w = عمق الماء في البئر في أثناء الضخ، ft (m)

r_w = نصف قطر البئر، ft (m)

إذا استخدمت هذه المعادلة، فإن التوقع بتصريف البئر Q استناداً إلى نفوذية معلومة K، أو عبر تقدير K من خلال قيمة Q المقاسة، سيكون دقيقاً بشكلٍ معقول للحوامل المائيّة الطبيعية غير المحصورة والتي تقارب الشروط النموذجيّة. يتطلب تطبيق المعادلة 28-4 إما تقدير نصف قطر التأثير r_0، أو تشييد آبار مراقبة في منطقة انخفاض المخروط بهدف تقدير نصف قطر التأثير r_0.



شكل 4-36: انسياب شعاعي ثابت إلى بئرٍ مخترقاً كامل حاملٍ مائيٍّ محصور نموذجي، المعادلة 4-29

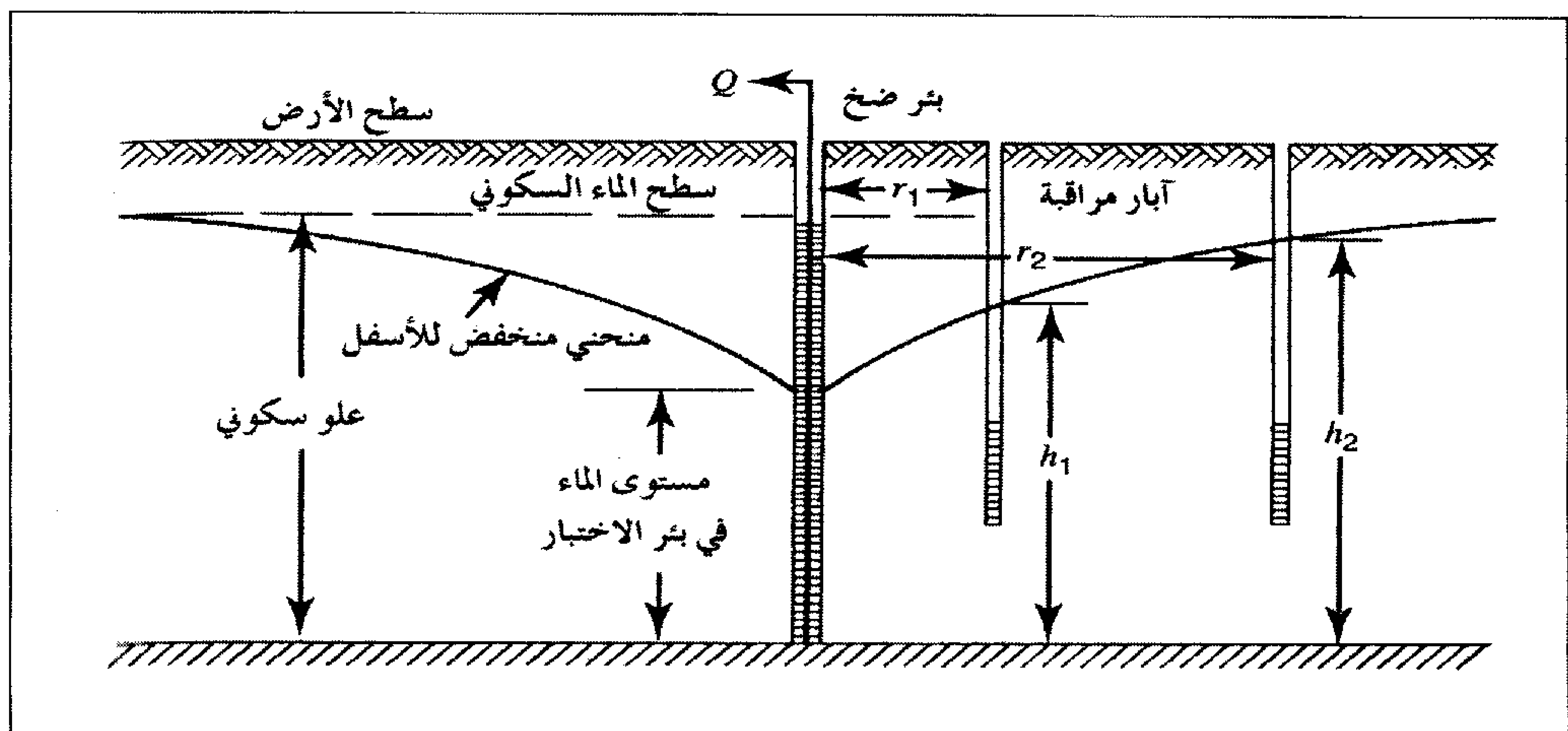
يظهر الشكل 4-36 انسياباً شعاعياً ثابتاً إلى بئرٍ، مخترقةً حاملاً مائياً محصوراً، وتصبح المعادلة لتصريف البئر لشروط نموذجيّة كالآتي:

$$Q = 2\pi Kb \frac{h_0 - h_w}{log_e(r_0 / r_w)} \qquad \textbf{(29-4)}$$

حيث b ثخانة الحامل المائي بالقدم (المتر)، يمكن افتراض أو قياس قيمتي r_0 وh_0 من ملاحظة ودراسة بيانات البئر. يُمكن تقدير نفوذيّة حاملٍ ما يحيط بالبئر عبر إجراء تجربة ضخ. ويتطلب الأمر وجود آبار مراقبة لتسجيل مقادير الهبوط للأسفل على مسافات مختلفة من بئر الاختبار كما هو موضّح في الشكل 4-37. يمكن حساب النفوذيّة لحاملٍ مائيٍّ بعد إرساء شروط حالة مستقرة تحت تصريف مستمرّ للبئر كالآتي

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \times log_e(\frac{r_2}{r_1}) \qquad \textbf{(30-4)}$$

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2 - h_1)} \times log_e(\frac{r_2}{r_1}) \qquad \textbf{(31-4)}$$



شكل 4-37: انسياب شعاعي إلى بئرٍ خلال فترة تجربة الضخ في حامل مائي خشن الحُبيبة غير محصور، الأبعاد الموضحة تنطبق على المعادلة 4-30

مثال 4-16

أشِد بئراً قطره 2.0 ft في حامل محصور كما هو موضّح في الشكل 4-36. وهذا الحامل الرملي له ثخانة متجانسة قدرها 50 قد ويعلوه طبقة كتيمة بعمق 115 ft. أُجريت تجربة ضخٍ لتقدير معامل نفوذيّة الحامل. وكان السطح البيزومتري الأولي على عمق 49.0 ft تحت مستوى سطح أرض بئر الاختبار وآبار المراقبة. وبعد ضخ الماء بمعدل 0.46 ft/sec لعدة أيام، استقرت مناسيب الماء في الآبار على الانخفاضات الآتية: 21.0 ft في بئر الاختبار، 12.1 ft في بئر مراقبة يبعد 30 ft عن بئر الاختبار، و7.9 ft في بئر مراقبة ثاني يبعد 100 ft عن بئر الاختبار. احسب نفوذيّة الحامل المائي اعتماداً على هذه البيانات، ومن قيمة K المحسوبة قدّر قيمة التصريف وفقاً لقيمة الانخفاض في البئر المحفورة إلى قيمة الحامل المائي المحصور.

الحل

افترض سطحاً مرجعياً عند قيم الحامل المائي كما هو موضّح في الشكل 4-36.

$h_0 = 115 - 49.0 = 66.0$ ft

$h_w = 66.0 - 21.0 = 45.0$ ft

$h_1 = 66.0 - 12.1 = 53.9$ ft

$h_2 = 66.0 - 7.9 = 58.1$ ft

ويعطي التعويض في المعادلة 4-31 الآتي:

$$K = \frac{0.46\ cu\ ft/sec}{2\pi\,(50\ ft)(58.1\ ft - 53.9\ ft)} \times Log_e\left(\frac{100\ ft}{30\ ft}\right) = 0.00042\ ft/sec$$

مع انخفاض في البئر عند قمة الحامل المائي الرملي قدره h_0 = 66.0 ft و h_w = 0.0 ft. وقطر البئر يساوي 1 ft وعلى بعد من حافة مخروط الانخفاض مفترض أن يكون 700 ft. تمّ حساب تصريف البئر المقدر عند الإخفاض القياسي (Record Drawdown) باستخدام المعادلة 4–29 كالآتي:

$$Q = 2\pi(0.00042\ ft/sec)\ (50\ ft/sec)\ \frac{66.0\ ft - 0.0\ ft}{log_e\,(700\ ft/1.0\ ft)}$$

$$Q = 1.3\ cu\ ft/sec$$

مسائل

1-4 (أ) كم يبلغ العلوّ الهيدروليكيّ بالأقدام المكافئ لـــ 45 Psi؟ (ب) كم يبلغ الضغط السكوني المكافئ لعلو قدره 100 ft؟ (الأجوبة (أ) 104 ft، (ب) 43 Psi.

2-4 إذا بلغ مقدار الضغط في أنبوب مياه رئيس 50 Psi، فكم يبلغ مقدار الضغط المتبقي لدى صُنبور موجود في بناء يقع على ارتفاع 30 ft فوق الأنبوب الرئيس بافتراض فقد علوّ قدره 20 Psi في وصلات الخدمة؟

3-4 (أ) كم يبلغ العلوّ الهيدروليكيّ بالأمتار المكافئ لـــ 230 kPa؟ (ب) كم يبلغ الضغط السكوني المكافئ لعلوّ قدره 40 m؟

4-4 احسب سرعة الانسياب في أنبوب قطره .8 in عندما تكون كمية الانسياب 400 gpm، تحقق من إجابتك باستخدام الشكل 4-7 (الجواب 2.56 ft/sec).

5-4 احسب سرعة الانسياب في أنبوب قطره 200 mm عندما تكون كمية الانسياب 40 l/s، تحقّق من إجابتك باستخدام المنحني البياني 4-8 (الجواب 1.27 l/s).

6-4 احسب الطاقة الكلية في أنبوب ذي علوّ ارتفاع قدره 100 ft وضغط مياه 50 Psi وسرعة انسياب 2.0 ft/sec استخدم المعادلة 4-3.

7-4 احسب الطاقة الكلية في خطّ أنابيب له علوّ ارتفاع قدره 9 m وضغط مياه 410 kPa وسرعة انسياب 1.2 m/s استخدم المعادلة 4-4. (الجواب 51 m).

8-4 احسب فقد العلوّ في 2000 ft في أنبوب قطره 14 in. لمعدّل انسياب قدره 1000 gpm، قيمة الاحتكاك f لمادة الأنبوب تساوي 0.025. (الجواب 2.9 ft).

9-4 احسب فقد العلوّ في 1000 ft في أنبوب قطره 8 in. من الحديد الصب (cast iron) لمعدّل انسياب قدره 500 gpm، استخدم معادلة دارسي – فايسباخ، واختر القيمة المناسبة من الشكل 4-6.

10-4 باستخدام المنحني البياني في الشكل 4-7 لقيمة C تعادل 100، قدّر فقد العلوّ وسرعة الانسياب في أنبوب قطره 10 in. من الحديد اللدن ينقل 800 gpm، كم تبلغ قيم فقد العلوّ والسرعة إذا كانت C تساوي 140؟

11-4 باستخدام المنحني البياني في الشكل 4-8 لقيمة C تعادل 100، قدّر فقد العلوّ وسرعة الانسياب في أنبوب قطره 150 mm بتصريف 22 l/s. تحقق من إجاباتك باستخدام المعادلة 4-10 و 4-1 (الأجوبة 0.019 m/m و1.24 m/s).

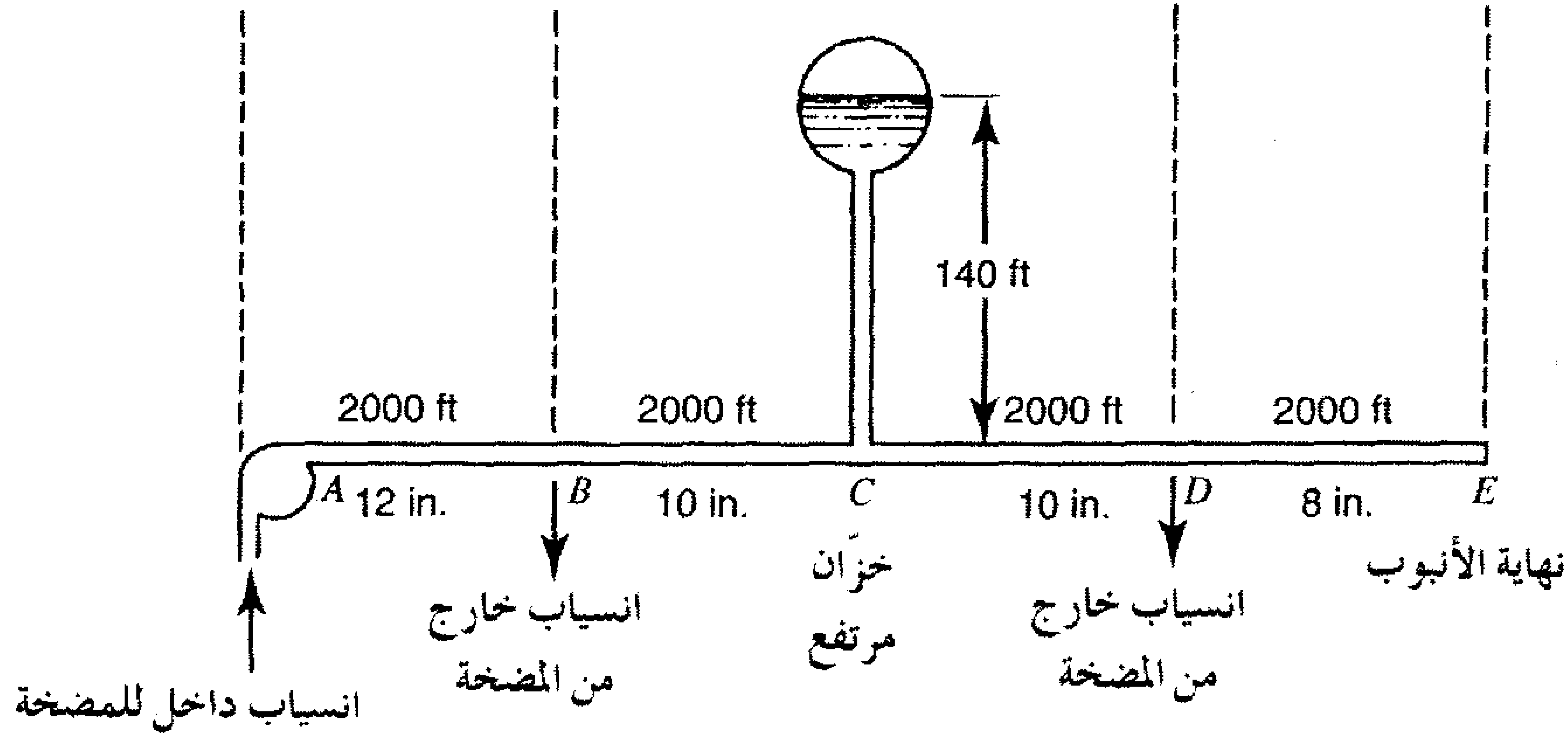
12-4 كم ينبغي أن يكون قطر أنبوب ليستخدم في التجهيز بالماء بمقدار gpm 1300 بحيث لا تتجاوز السرعة 3 ft/sec وبافتراض أن قيمة C تعادل 100؟ (الجواب 14 in.).

13-4 خط مياه رئيس قطره 8 in. وقيمة C = 100، ممدّد على تلة ارتفاعها ft 40 بطول 800 ft إلى شقق سكنية. فإذا كان التصريف 750 gpm مطلوبة للوقاية من الحرائق، فإن الضغط الأصغري عند نهاية فوهة الحرائق ينبغي أن يكون Psi 20. احسب الضغط عند مدخل الخط الرئيس للإيفاء بمتطلبات هذه الشروط. احسب h_L باستخدام المعادلة 4-8 والشكل 4-7.

14-4 أجرِ اختبار انسياب على خطّ انابيب قديم موجود لتقدير معامل C لمعادلة هازن ويليامز. خطّ الأنابيب المكور مستقيم ومقطعه أفقي وقطره 8 in.،

قيسَ فقد الضغط فكان 14.3 Psi في .2000 in من الأنبوب لدى انسياب الماء بمعدلٍ 500 gpm، احسب قيمة C لهذا الأنبوب .

15-4 استعرض المثال 4-6، كم يبلغ التصريف المحسوب لدى النقطة B في الشكل 4-9 إذا لم ينساب الماء إلى الخزّان المرتفع وكذلك لمَ ينساب منه؟

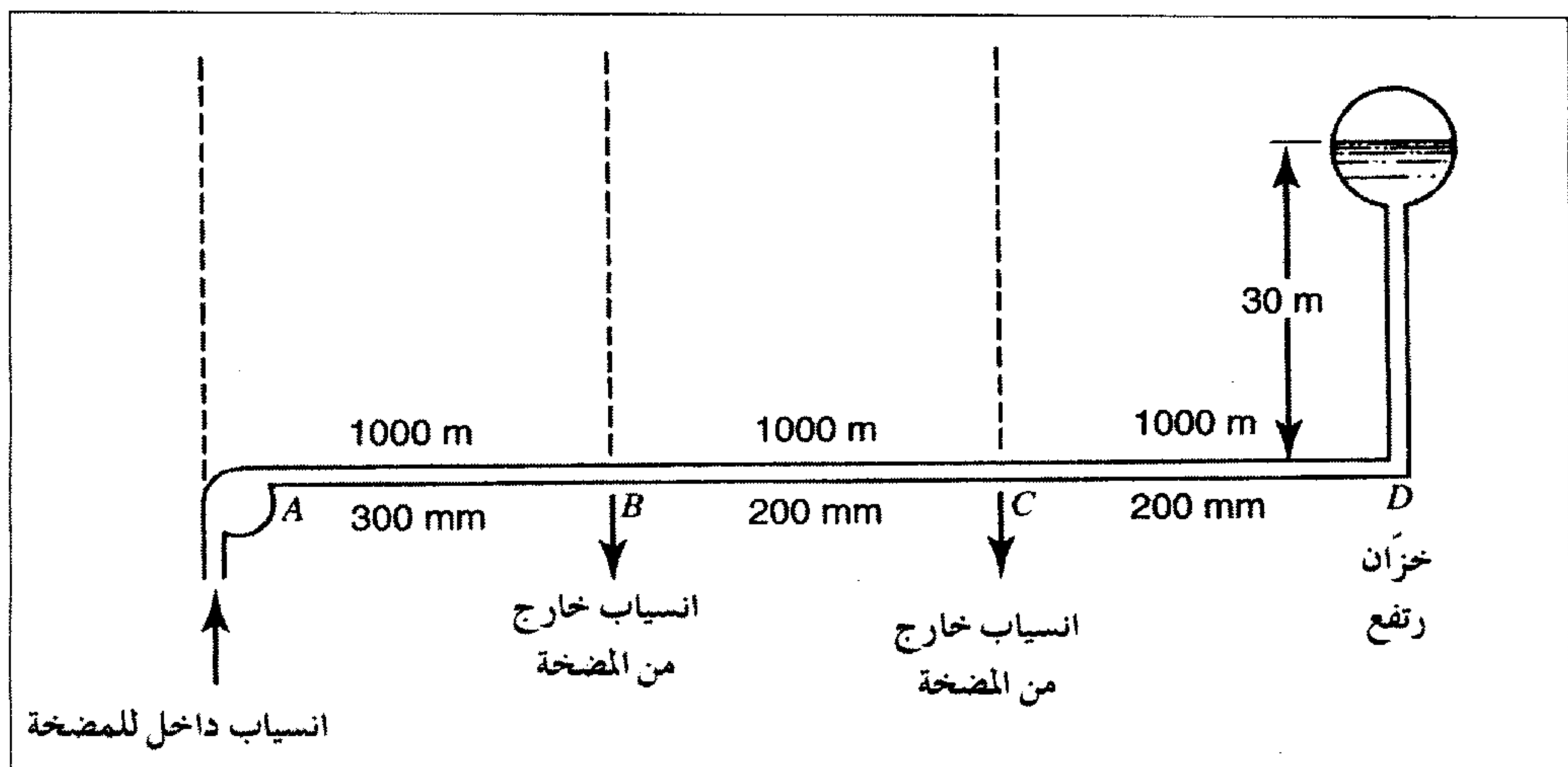


شكل 4-38: رسم توضيحي للمسألة **4-16**

16-4 نظام مائي بسيط موضّح في الشكل 4-38، احسب معدّل التصريف من خزّان مرتفع وارسم التدرّج الهيدروليكيّ لهذا النظام اعتماداً على انسياب داخل للمضخة قدره 2000 gpm عند النقطة A وانسياب خارج منها قدره 2500 gpm عند النقطة B، و1500 gpm عند النقطة D. افترض قيمة C = 100 لكل الأنابيب.

17-4 ارسم التدرّج الهيدروليكي للنظام الموضَّح في الشكل 4-39. إن الانسياب الداخل للمضخة عند A يساوي 100 l/s تحت ضغط ت ريف قدره 550 kPa وانسياب خارج من المضخة عند B يساوي 40 l/s. افترض قيمة C = 100 لكل الأنابيب.

18-4 ارجع إلى النظام المائي المبسط الموضّح في الشكل 4-9. ومن أجل المخطط الوصفي نفسه، احسب ضغط تصريف المضخة المطلوب عند A لتزويد انسياب مياه الحرائق (Fire flow) وتصريف يومي أقصر قدره 5000 gpm، تحت 20 Psi عند النقطة B. افترض قيمة C = 100 لكل الأنابيب. (الجواب 300 قد).



شكل 4-39: رسم توضيحي للمسألة 4-17

4-19 (أ) تحت الشروط نفسها الموضحة في الشكل 4-9. وكما حسب في المثال 4-6، احسب كمية الطاقة الداخلة للمضخات التي تقدم الماء من خزّان التجهيز بالماء. افترض أن كفاءة المضخة 70%، (ب) ما مقدار الطاقة الداخلة المطلوبة مقدرة بالحصان تحت الشروط الهيدروليكيّة نفسها للمسألة 4-14؟ افترض أن E_p = 0.70. (ج) ما مقدار الطاقة الداخلة المطلوبة لظروف انسياب مياه الحرائق للمسألة 4-17 ؟ افترض E_p = 0.70.

4-20 افترض للنظام نفسه الموضّح في الشكل 4-9 التي تبين مضختين رئيستين تؤمنان مياه من حامل مائي. (أ) ارسم منحنيات الضخّ للمضختين 1 و2 اعتماداً على بيانات العلوّ – التصريف الآتية، (ب) ارسم منحني العلوّ – التصريف للمضختين 1 و2 على التوازي. يمكن تقدير منحني العلوّ بإضافة منحنيات علوّ للمضخة أفقياً. (ارجع إلى مناقشة التشغيل على التوازي لمضخات ثابتة السرعة مرافقة للشكل 17-4). (ج) ارسم منحني علوّ – تصريف النظام المقدر من البيانات الآتية. (د) حدد موقع النقطة على منحني العلوّ –التصريف عندما يبلغ الطلب على الماء 1500 gpm (متوسط استهلاك الصيف)، و2160 gpm (الاستهلاك اليومي الأقصى)، وgpm 3600 (الاستهلاك اليومي الأقصى مضافاً إليه احتياج مكافحة الحرائق).

منحني المضخة 1		منحني المضخة 2		منحني المضخة 3	
تصريف(gpm)	علوّ (ft)	تصريف(gpm)	علوّ (ft)	تصريف gpm)	علوّ (ft)
900	300	1500	350	0	100
1200	200	1900	300	1700	150
1500	100	2300	200	2200	200
		2600	150	2900	300

21-4 في الليل، يتمّ ضخ الماء من خزّان محطة الضخ عبر شبكة أنابيب إلى خزان مرتفع. باستخدام معادلة الطاقة، احسب ضغط التصريف اللازم لتجهيز انسياب قدره 1000 gpm إلى الخزان، مفترضاً عدم وجود سحب آخر من النظام. يقع منسوب الماء في خزّان التجهيز بالماء على ارتفاع 10 أقدام، بينما تقع مضخة رفع الماء على ارتفاع 20 قد، ومنسوب الماء في الخزّان المرتفع 140 قد. يمكن اعتبار شبكة الأنابيب مكافئة لأنبوب طوله 5000 قد وقطره .10 in من الحديد الصب. C = 100 (الجواب 74 Psi).

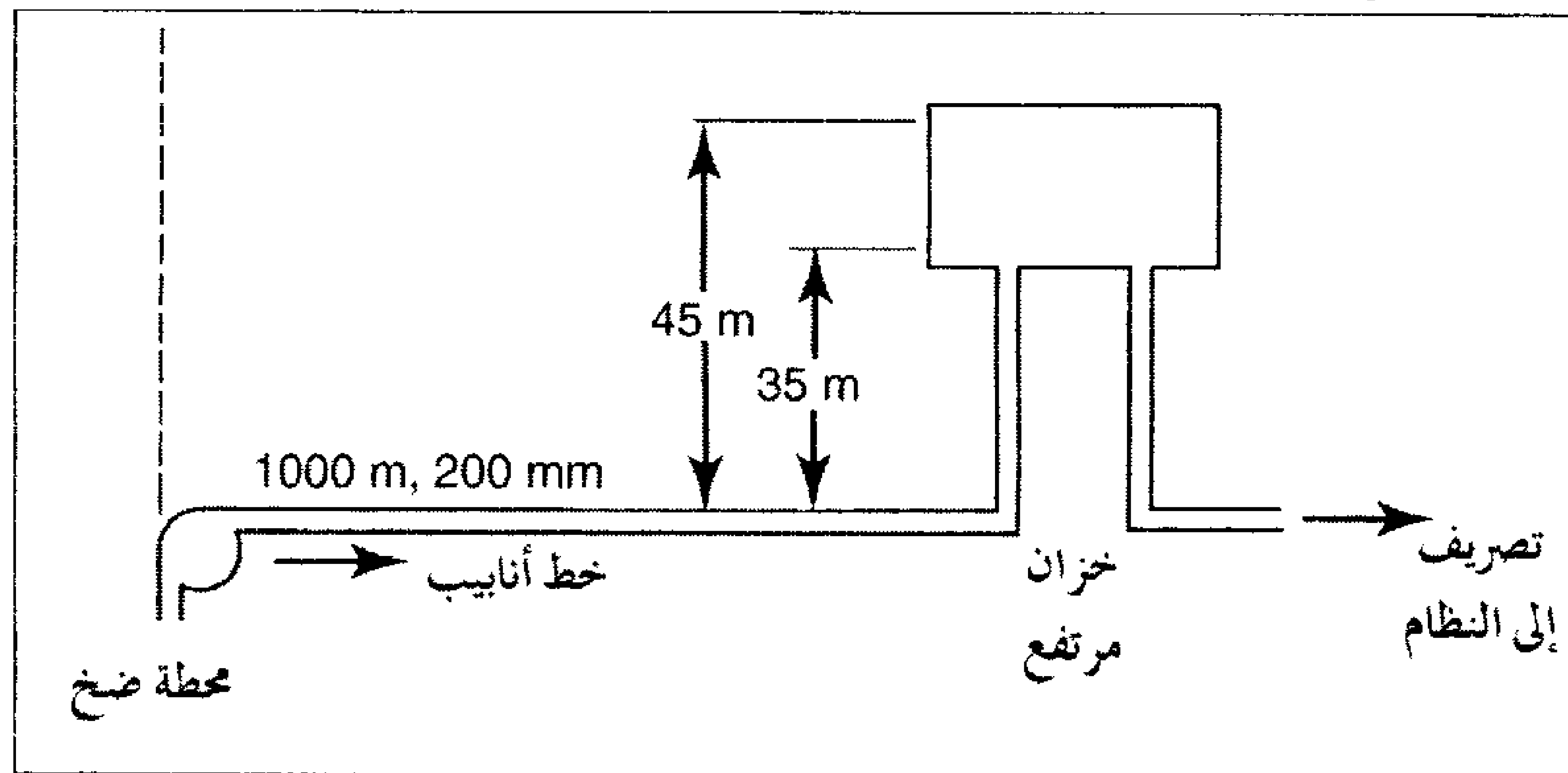
22-4 في ما يأتي بيانات التصريف، والعلوّ، والكفاءة لمضخة نابذة. تقع (bep) لدى 2500 gpm، وقطر الدفّاع .15 in، وسرعة التشغيل (rpm) 2500. ارسم المنحنيات المميزة للعلوّ – التصريف والكفاءة كما هو موضّح في الشكل 4-12 وحدِّد موقع (bep) ومجال تشغيل المضخة الموصى به. احسب مدخل الطاقة لدى (bep).

تصريف(gpm)	علو (ft)	الكفاءة	تصريف(gpm)	علو (ft)	الكفاءة
0	105	–	2000	83	85
500	100	41	2500	72	88
1000	96	63	3000	58	84
1500	91	78	3500	42	65

23-4 ارسم منحني علوّ – تصريف للمضخة الموصوفة في المسألة 4-22 والتي تعمل بسرعة (rpm) 1700. حدّد مواقع النقاط على امتداد المنحني لدى 60 و120% لـــ (bep)، ثم ارسم مغلف تشغيل المضخة كما هو موضّح في الشكل 13-4. (الجواب (bep): 1700 gpm، 33 in.).

24-4 ارسم منحني علوّ – تصريف للمضخة الموصوفة في المسألة 4-22 والتي تعمل بسرعة (rpm) 2500 بدفّاع قطره 12 in. (الجواب (bep): 2000 gpm، 46 in.).

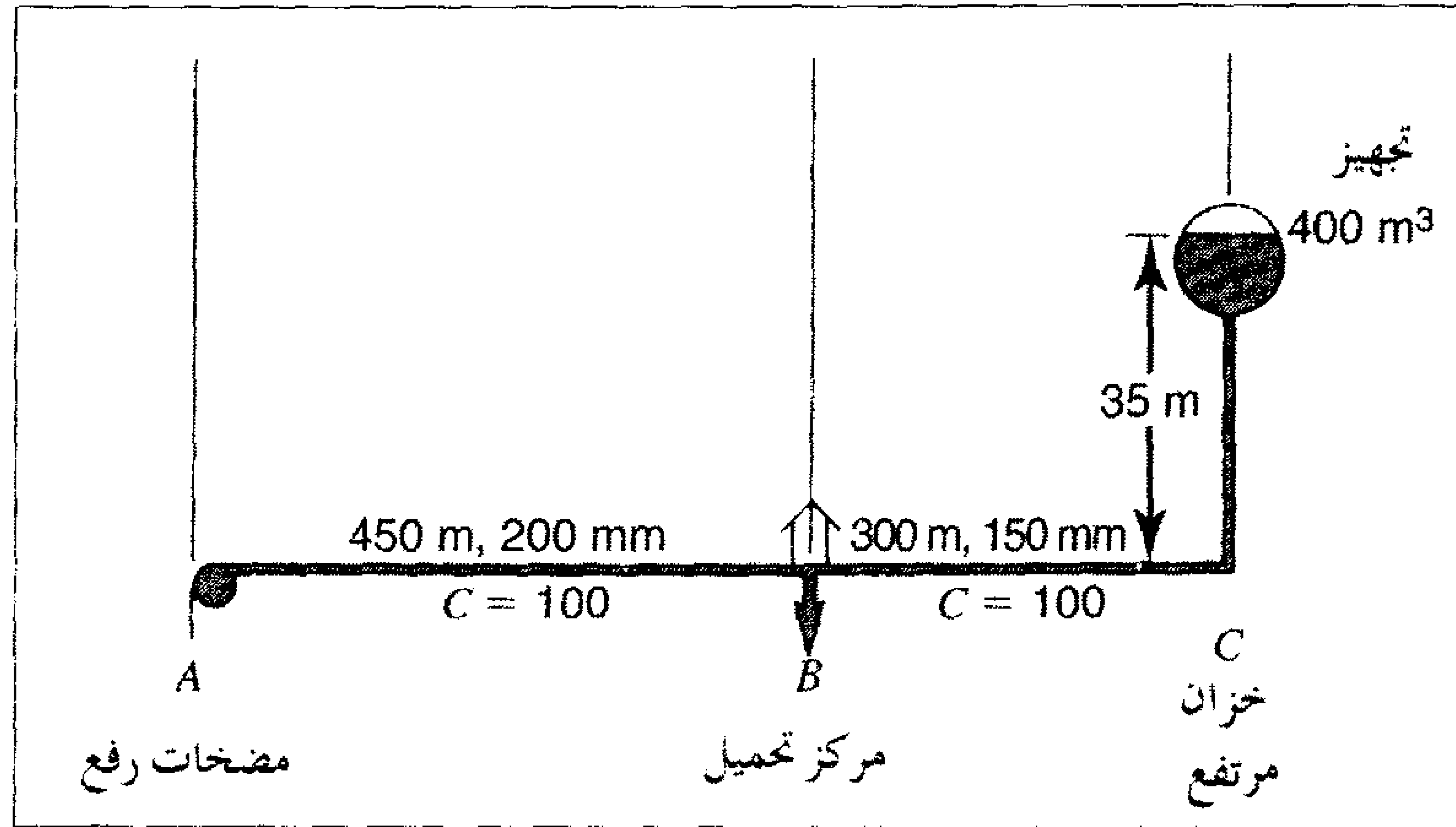
25-4 يتمّ ضخ الماء إلى خزّانٍ مرتفع عبر خط أنابيب أفقي طوله 1000 m ذي C = 100، كما هو موضّح في الشكل 4-40. ارسم منحنيات علوّ – تصريف مقابل مستويّي الماء المنخفض والمرتفع في الخزّان ضمن مجال انسياب داخل الخزان يتراوح بين 0 و75 l/s.



شكل 4-40: مخطط للمسألة 4-25

26-4 ارسم منحنيات علوّ – تصريف للنظام المائي البسيط الموضّح في الشكل 4-9. علماً أنّه يتوقع أن تكون أخفض منحنيات علوّ – تصريف النظام عندما تكون قيمة التدرّج الهيدروليكيّ في مركز التحميل 99 in. وفقاً لما هو مرسوم في الشكل 4-9. وستكون أعلى منحنيات علوّ – تصريف النظام عندما يكون التصريف في B صفراً ويكون العلوّ الهيدروليكيّ عند C مساوياً لـــ 140 in.

27-4 ارسم التدرجات الهيدروليكيّة للنظام في الشكل 4-41. إن سويات الأرض في النقاط *A*، *B*، *C*، على الارتفاع نفسه. توفّر مضخات الرفع عند *A* انسياباً بتصريف 400 kPa، ويقع ارتفاع سوية الماء في الخزان المرتفع في *C* على m 35، ويظهر الشكل 4-8 خطوط الأنابيب المكافئة إلى مركز التحميل في النقطة *B*. استخدم المخطط البياني في الشكل 4-8.



شكل 4-41: مخطط للمسألتين 4-27 و4-28

(أ) ارسم التدرّج الهيدروليكيّ واحسب التصريف الكلّي لدى *B* اعتباراً من مضخات الرفع، وكذلك الانسياب الخارج من الخزان المرتفع عندما يساوي ضغط الماء في *B*، 275 kPa، (ب) ارسم التدرّج الهيدروليكيّ واحسب التصريف الداخل إلى الخزّان المرتفع دون أيّ تصريف لدى مركز التحميل. قدّر قيمة الأنبوب المكافئ لخطوط الأنابيب المشتركة بين *A* و*C*. استخدم قطر هذا الأنبوب في المخطط البياني لتقدير كمية الانسياب. (الأجوبة (أ) 86 l/s، (ب) 170 mm، 20 l/s).

28-4 باستخدام البيانات من المسألة 4-27 وحلّها، ارسم منحني العلوّ – التصريف الأخفض (الجزء(أ))، منحني العلوّ – التصريف الأعلى (الجزء(ب)). يتمّ تأمين ثلاث مضخات متطابقة ثابتة السرعة مع أخرى رابعة بديلة. إن مجال عمل كلّ مضخة منها يتراوح من 44 m و18 l/s إلى 36 m و36 l/s، مع (bep) لدى 40 m و30 l/s. وفي حال وضع مضختين قيد التشغيل فسيكون المجال من m

44 و 36 l/s إلى 36 m و 72 l/s، مع (bep) لدى 40 m و 60 l/s، ارسم منحنيات الضخ لمضخة أو مضختين قيد التشغيل. ارسم دائرة صغيرة حول نقاط تشغيل على منحنيات العلوّ – التصريف.

29-4 ما عدد الأنابيب المتوازية بقطر 4 in. تكافئ أنبوباً واحداً قطره 8 in.؟ (الجواب 6).

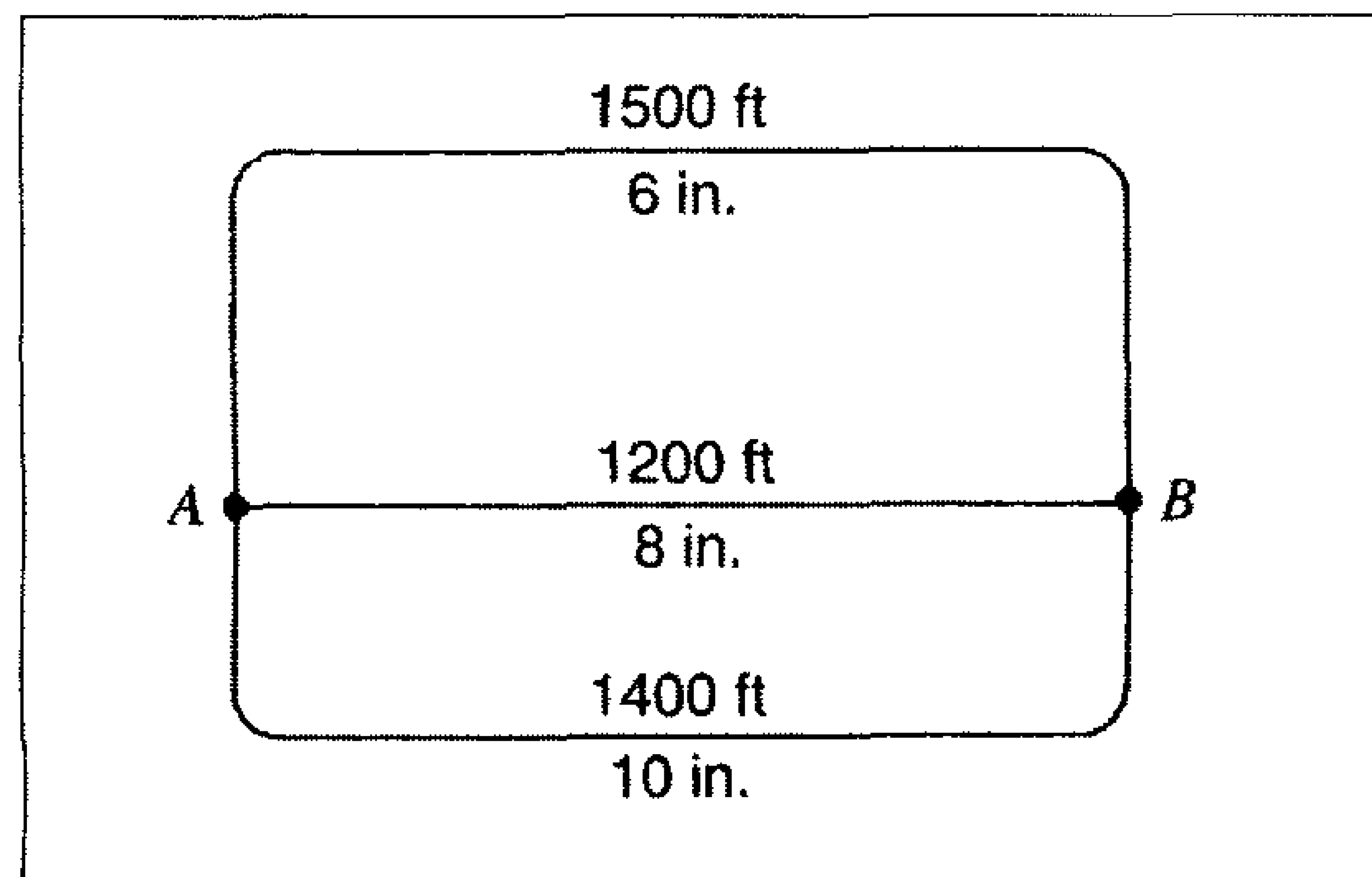
30-4 هل يكافئ انسياب أنبوب 150 mm لأنبوبين متوازيين 100 mm؟

31-4 مُدّد أنبوبٌ 6 in. ذو C = 100 موازياً لأنبوب 8 in. ذي C = 100. كم يبلغ قطر أنبوب مكافئ ذي C = 120؟

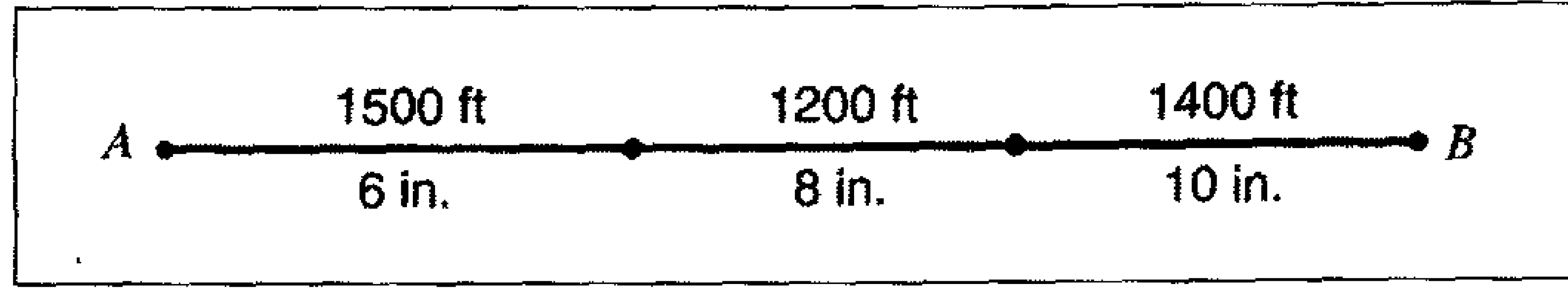
32-4 احسب مقدار أنبوب مكافئ مفرد لطول 1200 ft، يحلّ محلّ الأنابيب المتوازية الظاهرة في الشكل 4-42.

33-4 ما قطر أنبوب مكافئ لطول 4100 ft، بين النقطتين *A* و *B* في الشكل 4-43.

34-4 ما قطر أنبوب مكافئ ذي C = 100 لأنبوبٍ طوله 1000 m وقطره 200 mm و ذي C = 100، موجود بالتسلسل مع أنبوب طوله 1000 m وقطره 150 mm وذي C = 140. (الجواب 183 mm لدى C = 100).



شكل 4-42: مخطط للمسألة 4-32 أنابيب على التوازي للمسألة 4-32



شكل 4-43: مخطط للمسألة 4-33 أنابيب على التسلسل للمسألة 4-33

4-35 احسب مقدار أنبوبٍ مكافئ مفرد لطول 1000، يحلّ محلّ الأنابيب الثلاثة المتوازيّة الموضّحة في الشكل 4-42، إذا كانت الأنابيب بين A وB كالآتي: الأنبوب الأعلى: طول 1800 m وقطر 150 mm، الأوسط: طول 1000 m وقطر 200 mm، والأسفل: طول 1400 m وقطر 250 mm.

4-36 حدّد بيانات نظام توزيع مياه ضروري لبرمجة النظام لأجل تحليل حاسوبي، كيف يمكن معايرة البرنامج والتحقّق منه؟

4-37 ما هي كمية وسرعة الانسياب التام لمجرورٍ قطره 12 in. مُدّد على منحدر 0.0060 ft/ft باستخدام (أ) $n = 0.013$ و(ب) $n = 0.011$؟ الأجوبة ((أ) 1210 gpm، 3.5 ft/sec، (ب) 1430 gpm، 4.1 ft/sec).

4-38 كم تبلغ كمية وسرعة الانسياب التّام في مجرورٍ قطره 50 cm مُدّد على منحدرٍ 0.003 m/m باستخدام (أ) $n = 0.013$ و(ب) $n = 0.011$؟ (ج) ولخشونة قدرها $n = 0.013$، احسب كمية الانسياب لعمق انسياب مساوٍ لـ 30 cm.

4-39 ما مقدار الانحدار الأصغري اللازم لمجرور قطره 24 in. للمحافظة على متوسط سرعة انسياب يساوي 3.0 ft/sec إذا كانت كمية الانسياب 20% من انسياب بكامل الطاقة؟ (الجواب 0.0028).

4-40 ما هو حجم أنبوب المجرور الذي توصي به لنقل 5.4 cu ft/sec ضمن القيود الآتية: السرعة القصوى المسموح بها 10 ft/sec، والانحدار الأقصى المسموح به للأنبوب هو 3.0 ft/ 100 ft؟

4-41 ما هو حجم أنبوب المجرور الذي توصي به لنقل 15 cu ft/sec ضمن القيود الآتية: السرعة الدنيا المسموح بها لانسياب تام ft/sec 2.0 والسرعة القصوى المسموح بها 15 ft/sec ، والانحدار الأقصى المسموح به للأنبوب 100 ft/3.0 ft، حُدّد لتقليل كمية حفر خندق الأنبوب الذي يستلزم اقتلاع صخور؟

4-42 احسب عدد سكان التصميم الذي يمكن لمجرور صحيٍّ قطره 200 mm مُدّد على منحدر 0.40%، أن يخدمهم. افترض أن انسياب التصميم لكل شخص هو 1500 l/d. (الأجوبة 1200 شخص).

4-43 مُدّد أنبوب مجرور قطره 33 in. (n = 0.013) على منحدرٍ 100 ft/0.40 ft. (أ) على أيّ عمق انسياب تساوي السرعة فيه 2 ft/sec؟ (ب) إذا كان عمق الانسياب هو 18 in.، فكم يبلغ التصريف؟

4-44 ما هو الانحدار المطلوب الذي ينتج سرعة انسياب تساوي 1.0 m/sec عندما يكون الانسياب 90 mm في مجرور من الصلصال المزجّج قطره 450 mm؟

4-45 ينقل مجرور عواصف قطره 60 in. انسياباً قدره 55 cu ft/sec على عمق انسيابٍ قدره 40 in.. ما هي السعة غير المُستخدمة للأنبوب مقدرةً بـــ cu ft/sec؟ (الجواب 14 cu ft/sec).

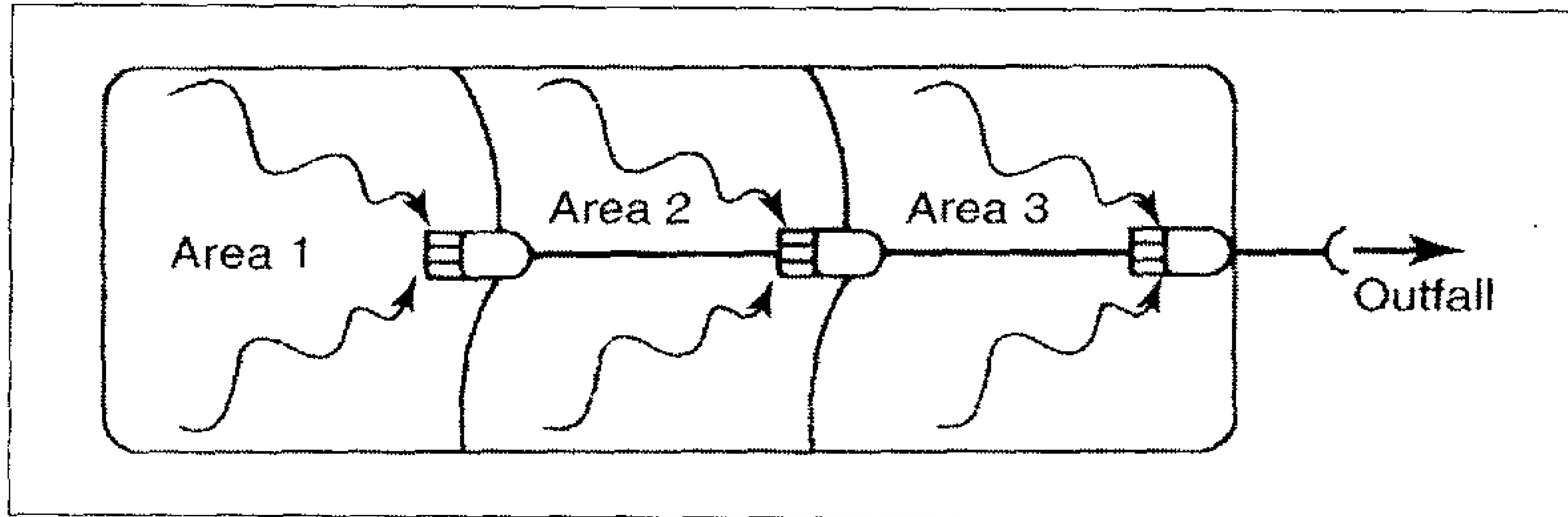
4-46 اشرح لماذا يعتبر العدّاد المركّب مناسباً لخدمة الزبائن على خلاف عدّاد التيار الذي لا يعتبر مناسباً لذلك.

4-47 بالرجوع إلى معادلة الطاقة، المعادلة 4-2، اشرح مبادئ تشغيل عدّاد فينتوري (الشكل 4-28).

4-48 يسجّل عدّاد فينتوري ذو معبر ضيق قدره 4.0 in. فرق علوّ ضغط قدره 120 in. في الماء بين المدخل والممر الضيق. احسب كمية الانسياب عبر العدّاد باستخدام معامل تصريف قدره 0.98 (الجواب 2.2 cu ft/sec).

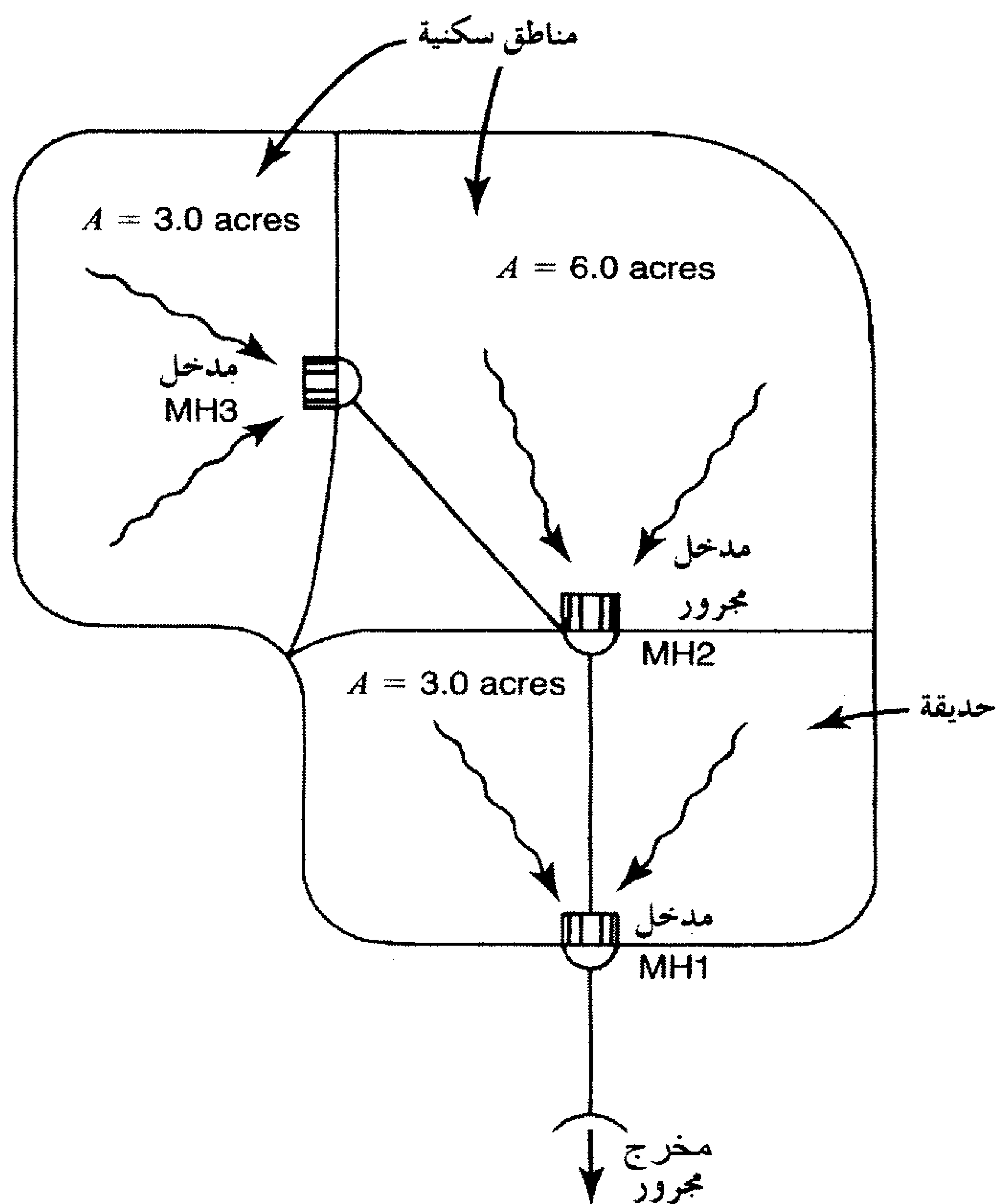
4-49 يبلغ العلوّ المرتفع لمياه الصرف .in 0.82 في قناة بارشال الصنعية لقياس الانسياب في ممر ضيق عرضه .in 1.5. احسب كمية الانسياب عبر القناة الصنعية.

4-50 باعتبار منطقة الصرف الموضحة في الشكل 4-44، احسب تصريف الجريان الخارج باستخدام طريقة الحصص المتساوية. استخدم منحني مدة 5 سنوات كثافة الهطول المطري في الشكل 4-30. البيانات الأخرى هي كالتالي: للمنطقة 1، C = 0.50، مساحة = 1.3 acre، زمن الدخول = 7 min، للمنطقة 2، C = 0.40، مساحة = 2.5 acre، زمن الدخول = 5 min، للمنطقة 3، C = 0.70، مساحة = 3.9 acre، زمن الدخول = 5 min، طول خطوط المجارير في كلٍّ من المنطقة 2 و3، يبلغ 500 ft، يُفترض متوسط سرعة الانسياب في المجارير قدره 3.0 ft/sec. (الجواب 20 cu ft/sec).



شكل 4-44: مخطط الصرف للمسألة 4-50

4-51 قدر حجم المجرور اللازم لجريان خارج تحت MH1 ليخدم صرف منطقة مساحتها 12 acre في الشكل 4-45 لكامل منطقة ذات زمن دخول قدره min 10. معامل الجريان السطحي للمنطقتين السكنيتين يبلغ 0.45 وللحديقة 0.15. وتبلغ المسافة بين الفتحات .in 600، مُدّت كلّ الأنابيب على منحدر 0.0020. والعلاقة كثافة – مدة الهطول المطر محدّدة بـ i = 131 مقسومة على t + 19 حيث i هي عدد الإنشات في الساعة و t = عدد الدقائق.



شكل 4-45: مخطط الصرف للمسألة 4-51

4-52 احسب الانسياب المنخفض في 7 أيام، علماً أن هذا الانسياب يتكرر مرةً واحدةً كل 10 سنوات، وذلك وفقاً لبيانات الانسياب الآتية. (جُهز الملحق بورق احتمالية لوغاريتمي لدورتين)

(الجواب 85 cu ft/sec)

السنة	cu ft/sec	السنة	cu ft/sec
1965	120	1973	170
1966	162	1974	82
1967	142	1975	74
1968	137	1976	110

184	1977	254	1969
121	1978	367	1970
208	1979	145	1971
145	1980	153	1972
198	1981		

53-4 احسب الانسياب المنخفض في 7 أيام، علماً أن هذا الانسياب يتكرر مرةً واحدةً كل 10 سنوات وفقاً لبيانات الانسياب الآتية.

cu ft/sec	السنة	cu ft/sec	السنة	cu ft/sec	السنة
77.4	1973	89.6	1963	62.7	1953
88.4	1974	149.0	1964	15.1	1954
36.1	1975	121.0	1965	54.1	1955
23.0	1976	108.0	1966	27.4	1956
123.0	1977	81.4	1967	48.4	1957
136.0	1978	98.0	1968	52.9	1958
159.0	1979	191.0	1969	39.0	1959
186.0	1980	188.0	1970	42.4	1960
135.0	1981	271.0	1971	123.0	1961
117.0	1982	191.0	1972	145.0	1962

54-4 اشرح لماذا تتطبق البحيرات حرارياً ولماذا تدور المياه المحتجزة في البحيرات ثنائية الانقلاب مرتين في السنة.

55-4 أجريت تجربة ضخّ في حامل مائي غير محصور باستخدام بئر اختبار اخترق الحامل حتى الطبقة الكتيمة الواقعة تحته على عمق 60 ft. يقع بئرا مراقبة

على بعد 60 ft و 360 ft من البئر الرئيس. كان منسوب الماء السكوني قبل بدء تجربة الضخ في كل من الآبار الثلاثة على عمق 15.0 ft تحت المنسوب المرجعي لسطح الأرض. وبالوصول إلى ظروف التوازن بعد الضخ من بئر الاختبار بمعدل 550 gpm لمدة يومين، قِيسَ منسوبا سطحيّ الماء فُوجِد أنهما قد انخفضا بمقدار 9.1 ft و2.4 في بئري المراقبة الواقعين على بعد 60 ft و360 ft على التوالي. احسب معامل النفوذيّة الحقلي (الجواب K = 0.0013 ft/sec).

4-56 حُفِر بئر في حامل مائي مكوّن من الحجر الرملي ثخانته 50 ft، محصور تحت حمولة كتيمة بعمق 100 ft. وقد بلغ قطر الشبك والحشوة الحصوية 2.0 ft. استناداً إلى بيانات تجربة الضخ، كان السطح البيزومتري على عمق 30 ft تحت سطح الأرض، وقطر مخروط المنخفض 1000 ft، ونفوذيّة الحجر الرملي 2.5×10^{-4} ft/sec احسب معدّل الضخّ المقدّر الذي سيؤدي إلى انخفاض منسوب الماء في البئر إلى قمة حامل الحجر الرملي.

4-57 حُفِرَ بئر قطره 0.6 m في حامل مائي محصور موضّح في الشكل 36-4. للحامل المائي الرملي ثخانةٌ متجانسة قدرها 15 m يعلوه طبقة غضارية سطحية بعمق 35 m، أجريت تجربة ضخ لتقدير نفوذيّة الحامل المائي. كان المستوى البيزومتري على عمق 15.0 m تحت المنسوب المرجعي لسطح الأرض في بئر الاختبار وآبار المراقبة. وبعد الضخ بمعدل 13.0 l/s لبضعة أيام استقرت مناسيب الماء في الآبار على الانخفاضات الآتية: 6.4 m في بئر الاختبار، و 3.7 m في بئر مراقبة يبعد 10 m من بئر الاختبار، و2.4 m في بئر مراقبة يبعد 30 m من بئر الاختبار. احسب معامل النفوذية للحامل. ثم وباستخدام هذا المعامل K وباستخدام مسافة مفترضة قدرها 200 m من حافة مخروط الانخفاض، احسب تصريف البئر بانخفاض منسوب سحب الماء من البئر إلى سطح الحامل المائي المحصور. (الجواب K = 0.12 mm/s، Q = 35 l/s).

الفصل 5

نوعيـــة الميـــاه

الاستخدامات المفيدة للمياه هي الطرق الكثيرة التي تشجع الارتقاء بالرفاهَين العام والاقتصادي. وأبرز هذه الاستخدامات هي التجهيز بالمياه العامة والصناعيّة، والريّ الزراعي، وتربية الأسماك، وتنمية الحياة البرية، وتوفير الاستجمام، وتطوير النواحي الجمالية. وتقتصر تطبيقات كثيرة على مجالات ضيقة تبعاً لنوعية الماء، وبخاصة عند التجهيز بالمياه العامة. يتناقض صبيب مياه الصرف غير المنظّم مع استخدام الماء كمصدر منزلي مدني. ولذلك فإن مراقبة نوعية الماء مطلوبة لضمان أن لا يحول الاستخدام غير المقيد وغير الشرعي للممرات المائية في إدارة وتنظيم مياه الصرف، دون توظيف أفضل للمياه.

لقد أصدرت مصلحة الصحة العامة في بادئ الأمر معايير مياه الشرب عام 1914، لحماية الصحة العامة للمسافرين، وللمساعدة في إنفاذ قوانين الحجر الصحي بين الولايات. لقد غُيّرت وحُدّثت هذه المعايير عدّة مرات وكانت آخر مراجعة لها عام 1962. وبالرغم من أن هذه المعايير قد فُرِضَت فقط على شركات النقل بين الولايات، فإنها قد اعتمدت على نطاقٍ واسع، ووضعت شروطاً وضوابطاً لنوعية التجهيز بالماء المنزلي. لقد أُعطيت وثيقة مياه الشرب الآمنة السلطةَ، (Safe Drinking Water Act, EPA) لوضع الحدود القصوى المسموح بها لسويات الملوّثات في مياه الشرب وفرضِ المعايير إن فشلت الولايات في تحقيق ذلك. لقد

وَجّه مشروع القانون EPA إلى توضيح تفاصيل قواعد تشغيل وصيانة أنظمة مياه الشرب.

لقد كانت وثيقة مراقبة تلوّث المياه (Water Pollution Control Act) لعام 1948 أول محاولة مبكرة لكبح تلوّث المياه السطحية. لقد شرعت تعديلات عامي 1956 و1965 تأثيراً اتحادياً محدوداً في إنفاذ القوانين، غير أن ضبط معايير نوعية الماء والتلوّث بقية مسؤولية الولايات. لقد أعطت وثيقة المياه النظيفة (Clean Water Act, CWA) لعام 1972، للـ EPA دوراً مهيمناً في توجيه وتحديد برامج مكافحة تلوّث المياه لكل الولايات. لقد كانت الأهداف الوطنية الأولية منع طرح الملوّثات في المياه الصالحة للملاحة والوصول إلى نوعية مياه لحماية الأسماك والمحاريات والحياة البرية ولتوفير الاستجمام في الماء وعلى سطحها أنّى كان الوصول إليها ممكناً. علاوةً على ذلك، تنص أَحْكامُ هذا القانون البيئي على عدم وجود أيّ حق بإحداث تلوّث، وعلى ضرورة الحصول على ترخيص بطرح الملوّثات، وعلى أن خرق شروط هذا الترخيص خاضعة للمقاضاة، وعلى أن أيّ مراقبة لطرح الملوّثات تتجاوز متطلبات الحدّ الأدنى التقنية الاتحادية، يجب أن تستند إلى نوعية مياه المجاري المائية التي تتلقى هذا الطّرح.

1-5 وثيقة مياه الشرب الآمنة (Safe Drinking Water Act)

لقد فوّضت وثيقة مياه الشرب الآمنة SDWA والذي سُن في بادئ الأمر عام 1974 الوكالة الأمريكية EPA بوضع قوانين وطنية شاملة لضمان نوعية مياه الشرب للأنظمة العامة للمياه[1]. وفي ما يلي ثلاثة أصناف لأنظمة الماء العامة. يخدم نظام مائي مشترك 25 شخصاً في منطقة إقامتهم الأصلية (أو 15 منطقة إقامة على الأقلّ، باعتبارها منطقة إقامة أولية). ومن الأمثلة على ذلك، البلديات، وحدائق المنازل المتنقلة، وقطع أراضي مالكي البيوت. ويخدم نظام مائي غير مؤقّت وغير مشترك عدد الأشخاص نفسه البالغ 25، بانتظام لستة أشهر على الأقل في كل سنة،

لا يقيمون في أماكن إقامتهم الأصلية. وأمثلة ذلك المرافق التجارية، مباني المصانع والتي لديها أنظمة مائية خاصة بها. يخدم نظام مائي مؤقّت غير مشترك 25 شخص أو أكثر لمدة ستين يوماً في السنة على الأقل، إنما لعدد مختلف من الأشخاص وبخدمة غير منتظمة. وتشمل الأمثلة على ذلك مناطق الاستراحات على الطرق السريعة، ومناطق الاستجمام، ومحطات الوقود والاستراحات، والتي لديها مورد مياه خاص بها لاحتياجات موظفيها وللاحتياجات العامة.

لقد تمّ تعديل وثيقة مراقبة تلوّث المياه (Water Pollution Control Act, WPCA) بشكلٍ منتظم، وقد نجم عن ذلك قوانين للتأمين ضد مُمرضات أو مواد سامة لم تكن معروفةً من قبل أو لم يكن خطرها مدركاً تماماً. تستلزم قانون القولونيات الكلية (Total Coliforn Rule, TCR) أن يكون التركيز الأقصى للقولونيات الكلية، والقولونيات البرازية والإيشيريشيا كولي صفراً، وهي أكثر تشدداً من قاعدة القولونيات الأصلية (الفقرة 5-2). تضم وثيقة مراقبة التلوّث بالرصاص (Lead Contamination Control Act, LCCA) متطلبات إشراف خاص على الماء في أنظمة التوزيع إضافة إلى حظر لحام وصهير أنابيب الرصاص في الأنظمة العامة (الفقرتان 5-3 و7-19). تتطلّب كل من قاعدة معالجة المياه السطحية (Surface Water Treatment Rule, SWTR) وقاعدة معالجة المياه السطحية المُحسّنة (Enhanced Surface Water Treatment Rule, ESWTR) ترشيحاً يعقبه تعقيم كيميائي للتأكّد من التخلص من الجيارديا والكريبتوسبوروديوم والابتدائيات والفيروسات المعوية المتأتية من التجهيز بالمياه السطحية والجوفية الواقعة تحت تأثير المياه السطحية (الفقرة 7-19).

إن EPA مطالبة كل خمس سنوات أن تجري تقديرات لتعديل خمس ملوّثات على الأقلّ من الملوّثات غير المعدلة في قائمة مرشحي مياه الشرب (Drinking Water Candidate List, DWCL).

الأسس التنظيميّة للمستوى الأعظمي للملوّث (Maximum Contaminant Level Goal, MCLG)

يرتكز هدف المستوى الأعظمي للملوّث **MCLG** على معايير صحية وغير ملزم التنفيذ، وقد وضع بهامش أمان مناسب ليضمن عدم حدوث أيّ تأثير عكسي على صحة الإنسان. ولتأسيس MCLG، أجرت EPA تقديراً للمخاطر يتضمن تقديراً كيفياً للتأثيرات العكسية، وتقديراً كميّاً لدى جرعات مختلفة، وطرق وصول الملوّثات إلى الإنسان، ومدى تعرضه لها، ووصف نتائج تقدير المخاطر والافتراضات الضمنية. لقد أُسس MCLG استناداً إلى بيانات عِلم السُّموم بما فيها علم الأوبئة الإنسانية، أو دراسات كيميائية أو دراسات تعرض الحيوانات. ونظراً إلى عدم وجود بيانات لعلم الأوبئة غالباً فإن الخطر الكامن لملوّث ما، يُقّدر عبر استجابة حيوانات المخبر مع الافتراض بأن تأثيراته في الحيوانات قد تحدث في البشر وهو موضوع جدل مازال قائماً[1]. والمشكلتان الأساسيّتان في تقدير المخاطر استناداً إلى دراسات الحيوانات هما: الأولى دراسة التأثيرات الملاحظة لسويات التعرّض العالي نسبياً والمُستخدمة في دراسات الحيوانات المخبريّة، وذلك لاستقراء تأثيرات السويات المنخفضة التي يتعرض لها البشر، والثانية دراسة المخاطر التي تتعرض لها حيوانات المخبر واستقراء المخاطر المتوقعة على البشر. فالنسبة إلى ملوّث معروف بكونه مسرطناً بشرياً، أو إذا وجد دليل قوي على سرطنته، فيجب ضبط قيمة MCLG لهذا الملوّث عند الصفر، وقيمة الصفر تعني عدم وجود أيّ عتبة أمان لهذا الملوّث. ما يعني وجوب خلو مياه الشرب من أيّ مسرطنات.

الأسس التَنْظيميّة للمستوي الأعظمي للملوّث MCL (Maximum Contaminant Level)

المستوى الأعظمي للملوّث (Maximum Contaminant Level, MCL)، معيارٌ ملزمُ التنفيذ (للملوّثات غير المسرطنة) وُضِع بقيمة رقمية مع هامش أمان مناسب بحيث يضمن عدم حدوث أيّ تأثير عكسي في صحة الإنسان. لقد اختير المستوى

العملي الأدنى للتقليل إلى الحدّ الأدنى من كمية المادة السامّة التي تساهم بها المياه أو مصادر أخرى كالغذاء والمشروبات والتدخين وتلوّث الهواء والتي تمثّل تعرضاً للبشر. تقدر EPA مستوى عدم تأثير (يشار إليه بالجرعة المرجعية Reference Dose RfD) لتعرض متقطع أو مدى الحياة دون أيّ تأثير معتبر في البشر بما في ذلك تحت مجموعات حساسة كالرضّع والأطفال والنساء الحوامل و كبار السن والأشخاص عديمي المناعة. تُستخدم بيانات علم السموم عن البشر و/ أو الحيوانات لتحديد أعلى مستوى لعدم ملاحظة تأثير عكسي (no-observed-adverse-effect level = NOAEL) أو أدنى مستوى لملاحظة تأثير عكسي (lowest-observed-adverse-effect level = LOAEL). وتحسب الجرعة المرجعية (Rerence Dose, RfD) المقاسة بالملغ لكل كغ من وزن الجسم باليوم.

$$RfD = \frac{NOAEL\ or\ LOAEL}{\text{عامل الشك}} \qquad (1\text{-}5)$$

وُضِع عامل الشك الذي يتراوح بين 10 و1000، ليأخذ بالاعتبار الاختلاف في الاستجابة للسمية بين كافة البشر، وكذلك بين البشر والحيوانات.

ويمكن حساب المستوى المكافئ لمياه الشرب (Drinking Water Equivalent Level, DWEL) باستخدام RfD كالآتي:

$$DWEL\ (mg/l) = \frac{RfD \times \text{وزن الجسم}\ (kg)}{\text{استهلاك ماء الشرب}\ l/day} \qquad (2\text{-}5)$$

يمثل DWEL تعرضاً مدى الحياة دون تأثيرات صحية عكسية بافتراض وجود تعرّض وحيد فقط مصدره مياه الشرب. ولأغراضٍ تنظيمية، افتُرِض أن معدّل استهلاك مياه شرب لجسم وزنه 70 kg من الأشخاص البالغين يبلغ 2 l/d، فإن استندت التأثيرات إلى الرضع، فسوف يتم استخدام في المعادلة 5-2، استهلاكاً قدره 1 l/d لجسمٍ وزنه 10 kg.

يأخذ MCLG للملوّثات غير المسرطنة بالاعتبار مصادر أخرى للتعرض كالهواء والغذاء. وإذا توفّرت بيانات عن كل مصدر تعرض، وإذا كانت مثل هذه التعرضات بين 20% و80% فعندها يستخدم مجموع التعرضات. وإن كان التعرّض متأتٍّ من مياه الشرب بنسبة 80% أو أكثر، فتستخدم القيمة 80%. وإن كان التعرّض متأتياً من مياه الشرب بنسبة 20% أو أقل، فتستخدم القيمة 20%، وحالما تم تقدير المساهمة النسبية للمصدر من مياه الشرب، فستحسب MCLG كما يأتي:

MCLG (mg/l) = DWEL × (الجزء الممثل لمساهمة مياه الشرب) (3-5)

تقنية المعالجة

قد يتمّ تحديد تقنية معالجة بديلة لـــ MCL من قبل EPA إذا لم تكن مراقبة الملوّث غير عملية اقتصادياً أو تكنولوجياً. ويعتبر قانون معالجة المياه السطحية (Surface Water Treatment Rule, SWTR) للحدّ من الجيارديا والكريبتوسبوريديوم، مثالاً جيداً على هذه الحالة، نظراً إلى أن مراقبتهما غير عملية لحماية الصحة العامة. تتطلّب تقنية المعالجة تخثّراً وترشيحاً فعّالين يخففان العكورة إلى ما دون مستوى محدّد، والتعقيم الفاعل المقدّر عبر التركيز الكيميائي وزمن التماس. إن النحاس والرصاص في الواقع تقنيتا معالجة أكثر من كونهما مستويا MCL، نظراً إلى أن خفض تراكيز هذين الملوّثين يتطلب تعديلاً أو تحسين معالجة الماء.

مفهوم الحاجز – المتعدد (Multiple-Barrier Concept)

بالرغم من أن مفهوم الحاجز المتعدد (Multiple-Barrier Concept) لم يدون كقانون منفصل إلا أنه دُمِج في SDWA. إن استخدام حواجز متعدّدة في نظام مياه الشرب فاعل في منع المُمرضات والملوّثات الأخرى من الوصول إلى مستهلكي الماء. والحاجز الأول هو حماية المصدر. فللتجهيز بمياهٍ سطحية، يتوجّب مراقبة استخدام حدّ الفصل المائيّ وتخفيض تلوّث مياه الصرف بمصادر تلوّث بشرية وحيوانية إلى الحدّ الأدنى. وللتجهيز بمياه جوفية يجب اعتماد برنامج حماية رأس البئر لمنع التلوّث

السطحي من دخول تجويف حفرة البئر. إن أكثر الحواجز أهميّة للتجهيز بمياه سطحية هو معالجة الماء والتي تتكون عموماً من تخثير كيميائي وترسيب وترشيح. تتباين تجهيزات معالجة مياه بئر ما تبعاً لنوع المياه الجوفية. أما الحاجز الثالث فهو تعقيم المياه المعالجة بكلورتها في خزّان التماس وبالمحافظة على كلور متبقٍ مناسب وقائياً في نظام التوزيع. والحاجز الأخير هو وجود أنابيب رئيسة لتوصيل الماء و خزّانات حفظ في نظام التوزيع تتم صيانتها بدقة، ويتم تشغيلها تحت ضغط مياه كاف لمنع المياه الخارجية من دخول النظام. إن تنفيذ برنامج مراقبة التوصيلات العرضية أمر أساسيّ لمنع أيّ انسياب راجع لمياه ملوّثة عبر توصيلات الخدمة من المنشآت الصناعية كالمشافي ومؤسسات أخرى تتعامل مع مواد خطرة.

2-5 النوعية الحيوية المجهرية لمياه الشرب

يجب أن تكون مياه الشرب خالية من كل الكائنات المجهرية المُمرضة. ويظهر الجدول 3-1 الفيروسات والبكتيريا والابتدائيات والديدان والتي يرجح انتقالها عبر الماء (فقرة 3-4، الأمراض المنقولة بالماء). إن اختبار الماء لتحديد هذا التنوع الكبير من المُمرضات فيها أمرٌ غير عملي، وذلك لصعوبة القيام بالتحليلات المخبريّة ولضعف إمكانية استخلاص نتائجٍ كميّة. لذا يتمّ التحكّم بالنوعية الجرثومية لمياه الشرب عبر تقنيات معالجة محدّدة مع مراقبة وجود البكتيريا القولونية.

وتقنيات المعالجة عمليات فيزيائية و/أو كيميائية تم توصيفها وفرضها من قبل EPA بهدف ضمان استبعاد كل الكائنات المجهرية (أو الملوّثات) والتي تمثّل في الواقع خطراً على الصحة (فقرة7-15، التعقيم). يُعرّف تعقيم المياه السطحية بإنه تقنيات المعالجة الهادفة إلى إزالة كييسات الابتدائيات بالتخثير الكيميائي عبر الترشيح بوسط حُبيبي، نظراً إلى أن الجياريا والكريبتوسبوريديوم مقاومان للكلور المتبقي. يتمّ تعطيل أيّ كييسات أو فيروسات معوية متبقية غالباً بالكلورة. ويتم تقدير ضرورة إجراء تخثّر وترشيح فاعل للمياه المعالجة إذا بلغت قيمة العكورة

NTU 0.3 أو أقلّ خلال 95% من مجموع القياسات. يتمّ تقدير ضرورة القيام بالتعقيم الكيميائي الفاعل للمياه قبل دخولها نظام التوزيع من خلال ناتج $C \cdot t$ والذي يمثّل تركيز المادة المعقّمة مضروباً بزمن التماس.

تقوِّم تقنية المعالجة للمياه الجوفية (فقرة 7-15، التعقيم) موقع البئر في ما يتعلق بخضوعه لتعقيم طبيعي من خلال زمن مرور المياه لفلترتها عبر التربة السطحية والحامل المائي. فإن كانت المياه الجوفية عرضة للتلوّث بمياه صرف حاوية على مخلفات برازية، فسيرتكز التعقيم الكيميائي لتعطيل الفيروسات المعوية على خلال ناتج $C \cdot t$ والذي تمّ تقديره من خلال ظروف الموقع.

تتم مراقبة الماء في نظام التوزيع في ما يتعلق بنوعيتها الميكروحيويّة عبر اختبار البكتيريا القولونية كجراثيم دالّة (الفقرة 3-8). والهدف الرئيس من الاختبار هو كشف تلوّث المياه المعالجة ميكروبياً في شبكة الأنابيب بسبب تيارّ راجع عبر وصلات خدمة الزبائن وعبر مخارج أخرى للنظام (الفقرة 6-9). يبلغ عدد عينات الماء المختبرة لتحديد القولونيات في نظامٍ مائي عام صغير يخدم أقلّ من 1000 شخص، عينة كل شهر. وفي أنظمة مائية أكبر يزداد العدد الأدنى للعينات الضرورية بمعدل عينة إضافية لكل 1000 مواطن تقريباً. فمثلاً لعدد سكان يتراوح بين 28001 و37000 يبلغ العدد الأدنى للعينات شهرياً 40، ولعدد سكانٍ يتراوح بين 83001 و96000 يبلغ 96، ولعدد سكانٍ يتراوح بين 450000 و600000 يبلغ 232. تتوزع مواقع جمع العينات عبر كامل نظام التوزيع وذلك استناداً إلى الكثافات السكانية ونطاقات النظام، بحيث يكون هناك 16 موقعاً على الأقل للتجمّعات السكانية التي يتجاوز تعدداها 11000.

يحدد قانون القولونيات الكلية قيمة MCLG بالصفر للقولونيات الكلية، والقولونيات البرازية وإيشيريشيا كولي. يحدد قانون معالجة المياه السطحية MCLG بقيم صفر لأنواع الجيارديا والكريبتوسبوروديوم والفيروسات المعوية والليجيونيللا.

رغم ذلك، يسمح بتلوّثٍ غير متعمَّد أو مقصود للعينة المأخوذة من صُنبور وسخ أو ناتج من تلوّث بقولونيات من أيدي آخذ العينة. وبالنسبة إلى الأنظمة التي تجمّع أقل من 40 عينة في الشهر فإنه لا يُسمح بأكثر من عينةٍ واحدة أثبت الاختبار تلوّثها. وبالنسبة إلى الأنظمة التي تجمّع أكثر من 40 عينة في الشهر فإنه لا يُسمح بتجاوز نسبة العينات أثبت الاختبار تلوّثها نسبة 0.5%. وإذا تبين تلوّث عينةٍ روتينية، فإنه ينبغي تكرار أخذ 3 أو 4 عينات خلال 24 ساعة. فإن كانت واحدة منهن ملوّثة فيتوجب جمع مجموعة أخرى مكررّة مماثلة. فإن كانت واحدة منهن ملوّثة أيضاً فيجب جمع مجموعة أخرى مكررّة مماثلة، ويقوّم النظام بتحديد مصدر القولونيات. يتمّ تضمين العينات المكررّة الملوّثة لتحديد ما إذا كان حدّ MCL للقولونيات قد تمّ تخطيه. علاوةً على ذلك، إن أثبت الاختبار تلوّث أيّ عينة روتينية أو مكررّة بالنسبة إلى القولونيات الكليّة، فإنه يتوجّب اختبار وسط الاستنبات والذي هو نفسه ملوّث بالقولونيات البرازية. ونظراً إلى أن عدد MCL للقولونيات البرازية يساوي صفراً، فإن وجودها في أيّ عينة يمثّل تجاوز MCL بالنسبة إلى القولونيات الكليّة. تجري مخابر المياه التي تُستخدم تقنية الوجود – الغياب اختبارات لكلٍ من القولونيات الكليّة والقولونيات البرازية والإيشيريشيا كولي (نُوقشت في الفقرة 3-9 اختبارات مجموعة القولونيات).

3-5 النوعية الكيميائية لمياه الشرب

لقد حددت المواد الكيميائية المدرجة في الجدول 5-1 من قبل EPA. وقد تتغيّر مواد هذه القائمة و/أو MCL المرافقة، وذلك تبعاً لتقديرات المخاطر المستقبلية. إن شطب أو حذف مادة كيميائية ما ناجم عن تحريم استخدامها، ما يتسبّب بتدني تلويثها للمياه إلى حدٍ بعيد، إلى أن تثبت الدراسات المستقبلية الافتقار إلى دليل مقنع بخطورتها على صحة الإنسان. وستجري إضافة مواد كيميائية جديدة، إذ إن 10 مواد لاعضوية و40 مادة عضوية إضافية قد تمّ إدراجها من أجل تنظيمها بهدف

إصدار قوانين لها. كما يتمّ إعادة تقييم منتجات تعقيم ثانوية وكذلك نوىً مشعّة. ويُرجّح أن تبقى معايير مياه الشرب قابلة للتكيف مع تعديلات مستمرة للتوافق مع الاستخدامات الكيميائية المتغيرة في البيئة (ينصح القراء المهتمون بملوث محدّد بالاتصال بـــ EPA أو بوكالة قوانين الولاية للاطلاع على أحدث الاعتبارات القانونية وMCL).

إن MCL معيار مطبق لحماية صحة الإنسان. وقد وضعت قيم مستويات MCL أقرب ما يمكن إلى MCLG كمعاييرٍ تطبيقية اعتماداً على أفضل إدارة ضبط وتقنية معالجة ووسائط أخرى، مع أخذ التكلفة بالاعتبار. إن احتياجات المراقبة محدّدة للغاية، فمن جدول موصى به للاعتيان الروتيني والاعتيان المتكرّر إلى التحقّق ما إذا كانت النتائج قد تجاوزت قيم MCL. يتباين تكرار الاعتيان تبعاً لنوعية المادة الكيميائية ولعدد السكان الذين يخدمهم النظام المائي العام ولمصدر التجهيز بالماء ما إذا كان سطحياً أم جوفياً. وتُجرى الاختبارات في مخبرٍ معتمد لمثل هذه الطرق. يشكِّل تركيز مادة كيميائية مُدَقَّقة في تجهيز بالماء يتجاوز قيم MCL بالنسبة إلى صحة الإنسان دافعاً لرفض هذا التجهيز.

جدول 5-1: المعايير الكيمائية لمياه الشرب المعترف بها من قبل EPA لحماية الصحة، MCL بـــ mg/l

مواد كيميائية لاعضوية			
الأنتيمون	0.006		
الزرنيخ	0.01	زئبق	0.002
الباريوم	2	نيكل	0.1
البيريليوم	0.004		
الكادميوم	0.005	نترات (على شكلN)	10
الكروم (كلي)	0.1	نتريت (على شكلN)	1
النحاس	TT^a	نترات + نتريت	10

السيانيد	0.2		
الفلور [b]	4.0	سيلينيوم	0.05
الرصاص	TT[a]	تانتاليوم	0.002
الأسبستوس	7 مليون خيط/لتر أطول من 10 µm		
مواد كيميائية عضوية طيارة			
بنزين	0.005	إيثيل بنزين	0.7
كربون تتراكلوريد	0.005	مونوكلوروبنزين	0.1
كلوربنزين	0.1	ستيرين	0.1
ديكلوروميثان	0.005	تتراكلوروإيثيلين	0.005
p- ديكلوروبنزين	0.075	تولوين	1
o- ديكلوروبنزين	0.6	1،2،4- تتراكلوروبنزين	0.07
1،2 ديكلوروإيثان	0.005	1،1،1- تتراكلوروإيثان	0.2
1،1 ديكلوروإيثيلين	0.007	1،1،2- تتراكلوروإيثان	0.005
cis،1،1 ديكلوروإيثيلين	0.07	تريكلوروإيثيلين	0.005
trans،1،1 ديكلوروإيثيلين	0.1	فينيل كلوريد	0.002
1،2 ديكلوروبروبان	0.005	زايلين (كلي)	10
مواد عضوية صنعية			
أكريلاميد	TT[a]	إيثيلين ديبروميد	0.00005
ألاكلور	0.002	غليفوسيت	0.7
ألديكارب	0.003	هيبتاكلور	0.0004
ألديكارب سولفون	0.002	هيبتاكلور إيبوكسيد	0.0002
ألديكارب يولفوكسيد	0.004	هكساكلوروبنزين	0.001
أترازين	0.003	هكساكلوروبنتدين	0.05
كاربوفوران	0.04	ليندين	0.0002
كلوردين	0.002	ميثوكسي كلور	0.04
دالابون	0.2	أوكسالاميل	0.2
دي (3 ألديكارب) أدابيت	0.4	PAHs (بنزو(أ) بيرين)	0.0002

دي برومو كلوروبين	0.0002	بنتاكلوروفينول	0.001
دي إيثيلهكسيل فثاليت	0.006	بكلورام	0.5
ينوسيب	0.007	بولي كلورنيتيد بايفينيلز	0.0005
ديكوات	0.02	سيمازين	0.004
إينوثال	0.1	توكسافين	0.003
إيندرين	0.002	(ديوكسين) 2, 3, 7, 8 TCDD	0.00000003
إيبيكلوروهيدرين	TT[a]	2، 4-(دي)	0.07
2-TP ، 4، 05 (سيلفكس)	0.05		
منتجات تعقيم ثانويّة			
ميثان ثلاثي الهالوجين الكلي	0.080	فايف هالوأسيتيك أسيد	0.060
نوى مشعة			
^{226}Ra ^{228}Ra	5 pCi/l	نشاط إشعاعي لجزيئات بيتا	4 mrem/yr
نشاط جسيمات ألفا الإجمالية	15 pCi/l	يورانيوم	30 µg/l

a = تقنية معالجة (Treatment Technology TT) تتطلّب تعديلاً أو تحسيناً لطرق معالجة الماء بهدف خفض تركيز الملوّث.

b= تشترط ولايات كثيرة أن يكون هناك إشعار عام على الأقلّ سنوياً لتحذير الزبائن من تسمم الأسنان بالفلور إذا تجاوز محتوى الفلور 2.0 mg/l.

يرتكز كثير من قوانين وضوابط MCL على نوع نظام الماء. إن كل المعايير قابلة للتطبيق في أنظمة تجمّع ما وكذلك على أنظمة غير مؤقتة وغير مشتركة والتي تجهز الأشخاص نفسهم ولفترات طويلة بالماء، مثل المدارس والمصانع. أما الأنظمة المؤقتة وغير المشتركة والتي تجهز أشخاصاً مختلفين ولفترات قصيرة بالماء، مثل أماكن التخييم والحدائق ومواقف الاستراحات على الطرق السريعة، فمطلوبٌ منها استيفاء MCL في ما يتعلق بتلك الملوّثات التي لها تأثير صحي ناتج من تعرض قصير الأمد كالنترات والقولونيات.

هناك تقنيات غير MCL قد حُددت لمواد كيميائية منتقاة فالأكريلاميد والإيبيكلورهيدرين يُستخدمان خلال معالجة الماء حيث يدخلان ضمن المخثّرات وذلك للإقلال من العكورة. وتحدّ متطلبات تقنيات المعالجة تراكيز هذه المواد الكيميائية في البوليميرات وتطبيقاتها. إن مصدر الرصاص والنحاس في مياه الصنبور هو وصلات التخديم وأنابيب النحاس وروابط لحام الرصاص، وأنابيب الرصاص والوصلات (رقبة الأوزة) التي تُستخدم لوصل الأنابيب المطلية بخطّ الماء الرئيس. وإذا تجاوزت تراكيز هذه العناصر المستويات التي يتوجّب عندها اتخاذ إجراءٍ مناسب، وتقنية المعالجة هي تخفيض الفعل الأكّال للمياه (فقرة 7-19) أو استبدال خطّ الخدمة بأنبوبٍ بلاستيكي.

المواد الكيميائية اللاعضوية

تترافق مصادر معادن الأثر مع النشاطات البشرية كالتعدين والتصنيع من جانب، ومع العمليات الطبيعية للتجوية الكيميائية وغسيل التربة. كما يمكن للتآكل في شبكة أنابيب التوزيع وأنابيب الماء في منزل المستهلكين أيضاً أن يضيف معادن أثر إلى مياه الصنبور.

تؤثر المعادن السامّة كالأنتيمون والزرنيخ والباريوم والبيريليوم والكادميوم والكروم والزئبق والنيكل والسيلينيوم والتاليوم في الأعضاء الداخلية للجسم البشري. والأنتيمون معدن أثر يستخدم كمكوّن أساسيّ في الخلائط. وهو نادرٌ في المياه الطبيعية، ويؤثر هضمه على ضغط الدم وعلى طول العمر. أما الزرنيخ فهو منتشرٌ بشكل واسع بتراكيز قليلة، وفي حالات منفردة يكون بتركيز عال في مياه الآبار، كما يوجد بكميات أثر في الغذاء. ويوجد الباريوم وهو أحد المعادن الترابية القلوية، طبيعياً بتراكيز قليلة في معظم المياه السطحية وفي كثير من المياه المعالجة. ولا يحتمل وجود البيريليوم في المياه الطبيعية بتراكيز أعلى من كميات أثر نظراً إلى أن أكاسيده وهيدروكسيداته ضعيفة الذوبان نسبياً. تنتقل كبريتات الباريوم المُذابة في

الأوعية الدموية إلى العظام، حيث لوحظ تحريضها لسرطان العظام في الحيوانات. ويمكن أن يدخل الكادميوم إلى المياه السطحية عبر طرح غير شرعي وغير نظامي لمياه الصرف الصناعيّ بكميات معتبرة تؤثّر في صحة الإنسان. غير أن المصادر الرئيسة للكادميوم تأتي من الغذاء ومن دخان السجائر وتلوّث الهواء، ومن ثم فإن MCL قد وُضعت بحيث يكون أقلّ من 10% من الكادميوم الداخل إلى الجسم البشري يتوقع إنه متأتٍ من استهلاك الماء. ويمكن للتأثيرات الصحية للكادميوم أن تكون إما حادّة نتيجة تعرّض زائد لتراكيزٍ عالية، أو مزمنة نتيجة تراكمه في الكبد والقشرة الكلوية. إن الكروم الداخل في تركيب الصخور هو أصل الأشكال غير المذابة للكروم الثلاثي، لذا فإن محتواه في المياه الطبيعية ضئيل للغاية. ويمكن أن يحدث تسمم حاد نتيجة تعرض عال للكروم سداسي التكافؤ الناتج من مياه الصرف الصناعية، ولا دور للكروم ثلاثي التكافؤ في ذلك. والزئبق عنصر نادر في الطبيعة، واستخدامه ممنوع في معظم التطبيقات التي تتضمن التعرّض للبيئة ومثال ذلك مبيدات الفطريات الزئبقية. إن التضخّم الحيوي للزئبق في أسماك الماء العذبة التي تُستخدم كغذاء هو أكبر خطر معتبر على صحة الإنسان. يدخل الزئبق السلسة الغذائية عبر تحوّل الزئبق اللاعضوي إلى زئبق الميثيل العضوي بواسطة عضويات موجودة في رسوبيات البحيرات والأنهار. لذا فإن السُميّة عبر الطرق الفموية ترجع بالدرجة الأولى إلى مركبات زئبق الميثيل العضوي أكثر من ارتباطها بأملاح الزئبق اللاعضوي أو بالزئبق المعدني. تتضمن أعراض التسمم بزئبق الميثيل العضوي اضطراباً عقلياً وإعاقة النطق والسمع والرؤية والحركة. يتسبّب النيكل بتهيّجٍ معدي معوي دون سميّة مرافقة، غير أن جرعات فموية كبيرة قد تتسبب بتسمّم حيوانات المخبر. أما السيلينيوم فهو معدن أثر يوجد طبيعياً في ترب مصدر بعض الصخور الرسوبية. تحوي الجداول السطحية والمياه الجوفية في الأقاليم السيلينيومية تراكيز سيلينيوم مختلفة. ولم تؤكد تأثيرات السيلينيوم على

صحّة الإنسان بشكلٍ واضح. وفي حين تكون حمية قوامها قليل من السيلينيوم مفيدة، إلا أنه يمكن لجرعاتٍ عالية منه أن تحدث تأثيرات فيزيائية غير مرغوبة، منها تساقط الشعر والأظافر.

يحدث التلوّث بالرصاص عبر الهواء والتربة والغبار والدهان والغذاء ومياه الشرب. وتؤثر سميّة الرصاص على خلايا الدم الحمراء، والجهاز العصبي والكِلية، والأطفال والرضع والأجنة أكثر عرضة من البالغين. إن مساهمة مياه الشرب بالتلوّث بالرصاص قد تكون رئيسة أو ثانوية وذلك تبعاً للظروف المحلية. والرصاص ليس ملوثاً طبيعياً للمياه السطحية أو الجوفية، ونادراً ما يتجاوز تركيزه فيها قيمة MCL البالغة 0.005 mg/l في مياه المصدر. فهو ناتج ثانوي للتآكل من مفاصل ربط الوصلات الرصاصية في الأنابيب النحاسية والأنابيب الرصاصية القديمة المنحنية، المُستخدمة لوصل أنابيب الخدمة بخط الماء الرئيس، وكذلك تركيبات استعمال الماء المصنوعة من النحاس الأصفر. في الوقت الراهن لم تعد تُستخدم أنابيب الرصاص والمثبتات المصنوعة من النحاس الأصفر ذات المحتوى العالي من الرصاص. فلقد حلت سبائك لحام خالية من الرصاص (0.2%) تقريباً، مكان السبائك القديمة التي تحوي (50%) قصدير في شبكات أنابيب الماء النحاسية. ونظراً إلى أن ذوبان الرصاص يحتاج إلى وقت تماس طويل، فإنه من المرجح وجود الرصاص في مياه الصنبور بعد دخوله الخدمة واصلاً بين الأنابيب والرصاص المسبوك في ما بينها، لمدة تتراوح بين 6 و8 ساعات. ولذلك فإنه يتوقع أن يكون تركيز عينة الدفقة الأولى هو الأعلى على ألا يتجاوز 0.015 mg/l كي يكون تحت مستوى اتخاذ الإجراءات المناسبة.

يوجد النحاس في مياه الشرب بشكلٍ اعتيادي. ويمكن لكميات أثر منه أقلّ من 20 µg/L أن يكون مصدرها تجوية الصخور، ولكن المصادر الرئيسة له في التجهيزات المنزلية بالماء ناجمة عن تآكل أنابيب الخدمة النحاسية وتركيبات

استعمال الماء المصنوعة من النحاس الأصفر. والنحاس عنصر أساسيّ في التغذية البشرية إذ إن تناول كمية منه تتراوح بين 1.5 mg/d و3 أمر آمن ومناسب. تتسبب الجرعات الفموية من النحاس بآلام معدي معوية وغثيان وتقيؤ خلال 60 دقيقة التي تلي تناوله، لكنه لا يتسبّب في تأثيرات صحية مزمنة ظاهرية. وتركيز النحاس مؤشر على التآكلية، لذا لا ينبغي أن يتجاوز تركيزه في عينة الدفقة الأولى لمياه الصنبور المأخوذة من وصلات الخدم لشبكة أنابيب نحاسية 1.3 mg/l .

إن المراقبة الروتينية للرصاص والنحاس في عينات الدفقة الأولى ضرورية ومطلوبة في توصيلات الخدمة ذات الأنابيب النحاسية ووصلات اللحام الرصاصية أوالتوصيلات ذات الأنابيب الرصاصية أو الأنابيب الرصاصية المنحنية. ويتحدد عدد نقاط الاعتيان وتكرار المراقبة على حجم النظام المائي وعلى نتائج المراقبة السابقة، وكذلك على فاعلية المعالجة إن كانت قد أجريت، في ما يتعلق بالسيطرة على التآكل. إن ما نسبته 10% أو أكثر من عينات الدفقة الأولى تبتعد عن القيم المحدّدة، حيث يتجاوز محتواهما من هذين المعدنين إما 0.015 mg/l رصاص أو 1.3 mg/l نحاس وهما معدّلا اتخاذ الإجراءات المناسبة. تهدف تقنية المعالجة للتحقّق من ابتعاد القيم بالنسبة إلى الرصاص والنحاس، إلى إجراء دراسات عن التآكل وذلك لتقويم طرق معالجة بديلة لتقليل التآكل ولتوظيف المعالجة الأمثل. فإذا تمّ تجاوز مستوى اتخاذ الإجراء في ما يتعلق بالرصاص، فإن الأمر يتطلب برنامجاً تعليمياً للعامة حول المخاطر الصحية للرصاص وتوصيات للإقلال من كميته الواصلة إلى الجسم من قبيل شطف وصلات الخدمة قبل استخدام الماء للشرب وإعداد الطعام. فضلاً عن هذا فإن الأمر يتطلب استبدال وصلات الخدمة الرصاصية لأنظمة الماء التي يستمر تجاوزها مستوى اتخاذ الإجراءات رغم اتباع وتوظيف خطوات السيطرة على التآكل.

يوجد الفلور في المياه الجوفية نتيجة الانحلال في التشكيلات الجيولوجية. أما المياه السطحية فتحتوي عموماً على تراكيز فلور أقلّ بكثير. إن مثل هذه التراكيز المنخفضة أو غيابها في مياه الشرب تتسبب بتشكّل مينا أسنان أضعف مقاومة للنخر، ما يتسبّب بارتفاع حالات نخر الأسنان عند الأطفال. إن تراكيز الفلور المرتفعة تتسبب بالتسمم بالفلور والتي يُشار إليها أيضاً بمصطلح التبرقش، ويتسبب أخف شكل لهذا المرض السِنّي بظهور مناطق مبيضة كامدة على الأجزاء الخلفية للأسنان. يمتدّ التسمم بحدة أكبر ليتحوّل لون السن إلى بني – مصفر. إن قيمة MCL البالغة 4.0 mg/l في معايير مياه الشرب قد حددت لتفادي التسمم بالفلور ذي المظهر القبيح. إن تركيزاً مثالياً للفلور في مياه الشرب يقي الأسنان من التحلل بدون أن يتسبّب بتسمم بالفلور أمر جدير أن يتم تحديده. تقوم وبنجاح المدن التي تعاني تجهيزاتها بالماء عوزاً بالفلور الطبيعي، بفلورة داعمة للوصول إلى المستويات المثالية وذلك للإقلال من حالات نخر الأسنان لدى الأطفال. ونظراً إلى تأثر استهلاك الماء بالطقس، فإن التراكيز المثالية المدرجة في الجدول 5-2 تستند إلى المتوسط السنوي لأقصى درجات حرارة هواء تمّ الحصول عليها من تسجيلات حد أدنى قدره خمس سنوات.

جدول 5-2: تراكيز الفلور المثالية في مياه الشرب الموصى بها استناداً إلى المتوسط السنوي لدرجة حرارة الهواء اليوميّة القصوى

مجال درجة الحرارة (°F)	القيمة المثالية mg/l
53.7 فما دون	1.2
53.8 إلى 58.3	1.1
58.4 إلى 63.8	1.0
63.9 إلى 70.6	0.9
70.7 إلى 79.2	0.8
79.3 إلى 90.5	0.7

النترات هي الشكل الشائع للنتروجين اللاعضوي والذي يوجد ذوّاباً في الماء. وفي الأقاليم الزراعية، يمكن للمياه الجوفية أن تحوي تراكيز معتبرة من النترات متأتِّية من غسيل الأسمدة غير المُستخدمة باتجاه الحوامل المائية الواقعة أسفل مياهها. ومن أجل مردود محصول جيد، يكون غالباً محتوى النتروجين اللاعضوي في رطوبة التربة المحيطة بنطاق الجذور أكبر بكثير من قيم MCL المسموح بها لمعايير مياه الشرب. تسمح بروفيلات الترب المساميّة للهطول المطري ولمياه الريّ بنقل هذه المياه الغنية بالنترات إلى مستوى المياه الجوفية من دون خسارة نتيجة إزالة النترتة القابلة للقياس. يمكن للمياه السطحية أن تتلوّث بالنتروجين عبر كل من طرح مياه الصرف المدنية ومن صرف الأراضي الزراعية. إن الخطر الصحي في تناول مقداراً زائداً من النترات في الماء يسبب إصابة الرضّع بميتهيموغلوبينيَّة الدَّم. ففي الأمعاء الدقيقة للرضيع، وخاصة أولئك الذين تتراوح أعمارهم بين 3 و6 أشهر. يمكن للنترات أن تُرجع إلى نتريت والتي تُمتص إلى الدم حيث تؤكسد حديد الهيموغلوبين وتعيق نقل الأكسجين في الدم الأمر الذي يتسبّب بالإزرقاق معطياً الرضيع لوناً أزرقاً. لكن حالات ميتهيموغلوبينيَّة دم الرضّع نادرة للغاية نظراً إلى أن معظم الأمهات في الأقاليم المعروفة باحتواء مياهها على نسب نترات مرتفعة يستخدمن إما مياهاً معلبة أو غذاءً سائلاً لا يحتاج عادةً إلى تخفيف، أو إلى تخفيفٍ قليل. يمكن تشخيص ميتهيموغلوبينيَّة الدم بسهولة من قبل الطبيب، وسرعان ما ينعكس الوضع إيجاباً عبر حقن أزرق الميثيلين في دم الرضيع. يمكن للبالغين الأصحاء أن يستهلكوا كميات كبيرة من النترات في مياه الشرب دون أن تظهر أيّ تأثيرات عكسية. إن المصادر الرئيسة للنترات في غذاء البالغين هي الخضراوات واللعاب.

يمكن للتعرض الوظيفي لغبار الأسبستوس أن يتسبّب بتليفٍ رئوي أو بسرطان الشعب الهوائية أو بأيّ أمراض لجهاز التنفس. إن حقيقة تسبب التعرّض لهواء ملوّث بألياف الأسبستوس بالإصابة بهذه الأمراض لا يشير بالضرورة إلى أن شرب المياه الملوّثة بعدد كبيرٍ مساوٍ لعدد ألياف الأسبستوس المُستنشَقة قد يؤدي إلى

الإصابة بهذه الأمراض. ويمكن دعم هذا الافتراض لدرجة عدم التمكّن من دحضه دون دليل يثبّت العكس.

المواد الكيميائية العضوية

توجد المواد الكيميائية العضوية في مياه الشرب بكميات أثرية وغالباً بتراكيز منخفضة جداً بحيث يكون أيّ توقُّع بتأثيرها في صحة الإنسان صعباً. ليس من السهل الحصول على بيانات موثوقة عن سميّة معظم المركَّبات الكيميائية العضوية على الإنسان، لكون المعلومات المتوفّرة مستمدة عادةً من تعرضات عرضية أو مهنية غير مراقبة أو مضبوطة. ولذلك تُستخدم دراسات طويلة الأمد على الحيوانات لتقدير التعرّض المديد والخطر السرطاني للمركبات العضوية على الإنسان. وفي دراسات تغذية الحيوانات المخبريّة فإنه يفترض أن تكون جرعة المادة السامّة مكافئة فيزيولوجياً لتلك التي للإنسان على أساس وزن الجسم. وبعد تقدير قيمة المقدار اليومي المستهلك المسموح، ومستوى (NOAEL) في الحيوانات، يتم تطبيق عامل أمان لتقليل المقدار اليومي المستهلك المسموح من قبل الإنسان للأخذ بالاعتبار عدم الوثوقيّة المتضمّن في الاستقراء من الحيوانات إلى البشر. يبلغ عامل الأمان المُستخدم في وضع معايير مياه الشرب 10 إذا لم تتوفّر بيانات التعرّض البشري المديد، مدعماً ببيانات السُميّة الفموية المديدة لدى الحيوانات، ويبلغ 100 عندما تتوفّر بيانات جيدة عن السُميّة الفموية المديدة لدى بعض أنواع الحيوانات دون توفّرها لدى الإنسان، ويصل إلى 1000 إن توفرت بيانات محدودة عن السُميّة المديدة لدى الحيوانات. ويقدر خطر تناول مادة كيميائية مقومة بأنها مسرطنة مؤكّدة أو مسرطنة مشكوك بها عبر مصطلح جرعة – خطر مرافق. إن تقدير الخطر الناتج يتمّ من خلال إجراء مقايسة حيويّة للحيوان وذلك عبر تحويل جرعة حيوان المخبر إلى جرعة مكافئة فيزيولوجياً لجرعة تعطى للإنسان، وذلك

بناء على المساحات السطحية في الحيوان المختبر وفي جسم الإنسان. بعد ذلك يتمّ استخدام نموذج رياضي للربط بين المقدار المدخول والتأثير، ويتم حساب معدّل المقدار المدخول المرافق لخطر السرطان استناداً إلى دخول مقدار يومي مدى فترة حياة قدرها 70 سنة.

تنتج المواد الكيميائية العضوية الطيّارة (Volatile Organic Chemicals, VOC) بكميات كبيرة لاستخدامها في النشاطات الصناعية والتجارية والزراعية والمنزلية. تتضمن التأثيرات الصحية العكسية لهذه المركّبات السرطان وتأثيرات مديدة في الكبد والكلية والجهاز العصبي. تقلّل القابلية للتطاير من تراكيز المواد الطيّارة في مياه المصدر. وتلوّث المياه الجوفية بالـ (VOC) أكثر شيوعاً، حيث إن (VOC) تبدي ميلاً قليلاً تجاه التربة وتتناقص فقط عبر التشتّت والانتشار والتي تكون غالباً محدودة. تتضمن أكثر المواد انتشاراً والمكتشفة مؤخراً في المياه الجوفية الملوّثة تريكلوروإيثيلين، وهي مادة مذيبة للشحوم تُستخدم في صناعة المعادن وكمكوّن شائع في منتجات المنظفات المنزلية، وتتراكلوروإيثيلين، وهو مذيبٌ يُستخدم في التنظيف الجاف كمادة كيميائية وسيطة في إنتاج مركبات أخرى، وتتراكلورايد الكربون المُستخدم في صناعة الفلوروكربون المُستخدم في صناعة المبردات والمذيبات، و1،2 دي كلوروإيثان وهو مادة وسيطة تدخل في صناعة مونيمرات كلوريد الفينيل، وكلوريد الفينيل وهو مركب يستخدم في صناعة البلاستيك، وكلوريد البولي فينيل المُستخدم في صناعة البلاستيك وصمغيات كلوريد البولي فينيل.

إن أكثر المواد الكيميائية العضوية الصنعية (Synthetic Organic Chemicals, SOCs) مدعاةً للقلق الكبير في ما يتعلق بتلوّث مياه الشرب هي المبيدات الحشرية. وتستخدم (SOCs) الأخرى في صناعة مواد للمستهلكين وخصوصاً المنتجات البلاستيكية وقليل منها من له تطبيقاتٌ مباشرة. وقد تُصادف مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب في المياه السطحية التي تتلقى جرياناً سطحياً إما من المناطق

الزراعية أو المناطق السكنية تُستخدم فيها مثل هذه المواد. يمكن للمياه الجوفية أن تتلوّث بمياه الصرف الناتجة عن صناعة المبيدات، والتسربات أو رشوحات مياه المطر أو مياه الري. لقد كشف وجود ألاكلور، وألديكارب، وأترازين، وكربوفوران، وإيثلين دي بروميد، ودي بروموكلوروبروبان في مياه الشرب. يمكن لمعظم المبيدات الحشرية أن تمتص إلى الجسم البشري عبر الرئتين، والجلد، والجهاز المعدي معوي. تتمثّل أعراض التعرّض الحادّ لهذه المركّبات بالدوخة وضبابية الرؤية والغثيان وآلام بطنية. يشير التعرّض المديد لحيوانات المخبر إلى تأثيرات عصبية وعلى الكلِية، ويتسبب بعض المبيدات بالسرطان.

منتجات تعقيم ثانوية

إن ميثان ثلاثي الهالوجين (THMS) مشتقات عضوية هالوجينية للميثان تمّ فيها استبدال ثلاث ذرات هيدروجين من أصل أربع بثلاث ذرات كلور، بروم، أو يود. لقد وجدت تراكيز قابلة للكشف من الكلوروفورم (تريكلوروميثان)، بروموديكلوروميثان، ديكبروموكلوروميثان، بروموفورم (تريبروموميثان)، دي كلوروإيودوميثان في مياه الشرب. والكلوروفورم هو أكثر تريهالوميثان شيوعاً في مياه الشرب، وغالباً ما يوجد بأعلى تراكيز. وفي بعض الحالات يسود تريكلوروميثان المُبَروم كنتيجة للوجود الطبيعي للبروم في الماء. تنتج THMS خلال معالجة المياه السطحية نتيجة التفاعل الكيميائي بين الكلور المُستخدم في التعقيم والمواد العضوية الموجودة بشكل طبيعي في الماء الخام. تتضمن المواد العضوية الطبيعية حمض الهيوميك (الدبالي) وحمض الفولفيك الناتجة من تحلل النباتات. والتفاعل العام المنتج للميثان ثلاثي الهالوجين.

(4-5) كلور + (أيون بروم + أيون يود) + مادة عضوية = ميثان ثلاثي الهالوجين + مركبات مُهَلجَنة.

إضافة إلى منتجات ميثان ثلاثي الهالوجين الكلية والتي هي منتجاتٌ ثانوية تعتبر أهم المعقّمات الرئيسة، تعتبر أحماض 5 خلات الهالوجين (HAAS) ثانيها. أما المواد الثانوية الأخرى التي كشفتها الفحوص المخبريّة للمياه المكلورة فلم تكن موجودة بتراكيز معتبرة. لا تتشكّل أحماض ميثان ثلاثي الهالوجين وخلات الهالوجين بشكل فوري، بل يزداد تركيزها باستمرار عبر فترة طويلة من الزمن، وعلى ذلك يمكن أن يزداد تركيزها في المياه المُكلورة المحتفظ بها في نظام التوزيع. لقد تمّ تثبيت قيم MCLs للـــ THMS الكلّي لدى 80 μg/l و5 (HAAS) لدى 60 μg/l بسبب تسرطن حيوانات المخبر. لقد تمّ تحديد هذه الحدود العدديّة عبر حسابات تمت على قيمة متوسط جاري لمدة 12 شهر لا عن اختبار منفرد. لقد جمعت عدّة عينات مائية لفترة ثلاثة شهور من نظام التوزيع 25% منها أخذت من أقصى أطراف الشبكة و75% منها موزعة على كامل التوزّع السكاني. وكانت قيم كل فترة هي القيم المتوسطة لتراكيز THMS الكلية و5 (HAAS) لكل العينات التي تمّ اختبارها. إن سويات التلوّث الأعظمية كانت قيمة متوسط أحدث قيم سُجّلت في أحدث أربعة أرباع من السنة، وقيمة متوسط الأرباع الثلاثة السابقة لها.

إن قانون المعقمات ونواتج التعقيم الجانبية الذي أعلنته EPA يثبّت قيم MCLs قدرها 0.01 mg/l للبرومات و1.0 mg/l للكلورات. لقد ثبتت سويات التعقيم المتبقي القصوى عند 4.0 mg/l للكلور والكلورامين و0.8 mg/l لثاني أكسيد الكلور.

النوى المشعة

تتفكك العناصر المشعة عبر إصدار إشعاعات ألفا، بيتا وغاما الناتجـــة عـــن النوى إلى حالة طاقيّة أخفض. إن جُسيمة ألفا هي نـــواة الهليـــوم (2 بروتـــون + نيوترون)، فمثلاً يتفكك Rn^{222} إلى Po^{218}، مصدراً He^{4}. وجُسيمة بيتا هي إلكترون أُصدر من النواة نتيجة تفكك النيوترون. فمثلاً يتفكك Ra^{228} إلى Ac^{228} مطلقـــاً β^-. وفي مثل هذه العمليات فإن نوى الهليوم التـــي أُصـــدرت كجُـــسيمات ألفـــا، أو أنّ

الإلكترون المقذوف كجُسيمة بيتا، تغيّر الذرة الأم إلى عنصرٍ مختلف. إن أشعة غاما شكلٌ من أشكال الإشعاع الكهرومغنطيسي، وأشكال أخرى من الضوء، وإشعاعات تحت الحمراء وفوق البنفسجية وأشعة إكس. يتضمن تفكك غاما خسارة طاقة فقط دون أن تتشكّل عنصراً مختلفاً. ولإشعاعات ألفا وبيتا وغاما طاقات وكتل مختلفة، وعلى ذلك يكون لها تأثيرات مختلفة في المادة. وكل منها قادرة على اقتلاع إلكترون من مداره حول النواة والابتعاد به عنها، بعملية تدعى التأين (Ionization). ويتمّ الكشف عن الإشعاع بواسطة التأين، ويمكن للأيونات عالية النشاط التي تدخل الجسم البشري، التسبّب بتأثيرات صحيّة مؤذية إذ إن المخاطر الصحية الكامنة من الإشعاع تطورية، وتشوهية، ومورثاتية، وجسدية.

تتباين قدرة اختراق المادة وسط الإشعاعات. يمكن أن توقّف سماكة ورقة معظم جُسيمات ألفا، بينما تعبُر معظم أشعة غاما الجسم البشري وكذلك أشعة إكس. ونظراً إلى أن جُسيمات ألفا توقَّف نتيجة اختراقات قصيرة فإن معظم طاقتها تتراكم مسببةً دماراً أكثر في واحدة حجم المادة المتلقية للإشعاع.

إن واحدة القياس pCi/l هي 10^{-12} كوري باللتر (Curie Per Liter 10^{-12}) على أن الكوري هو نشاط 1 g من الراديوم. أما الـ (rem) (Radiation Equivalent man) فهي مكافئ واحدة جرعة الإشعاع التي هي مكافئة رقمياً للجرعة الممتصة مقدرة بالـ rad مضروبة بعامل نوعية لوصف الضرر الفعلي للأنسجة من إشعاع التأين. إن mrem هو 1/1000 من الـ rem. إن الـ rad واحدة جرعة الإشعاع الممتص. يراكم rad واحد 100 erg من الطاقة في 1 g من المادة.

يمكن للنشاط الإشعاعي في مياه الشرب أن يكون مصدره النوى المشعة الطبيعية أو الصنعية. يبلغ الخلفية الإشعاعية الناتج من الأشعة الكونية والمصادر الأرضية 100 mrem بالسنة. ومصدر Ra^{226} الموجود في المياه الجوفية هو التشكيلات الجيولوجية، ونشاطه الإشعاعي منتشرٌ في المياه السطحية نتيجة السقط

الناتج من تجارب الأسلحة النووية. ومعظم التعرّض البشري نـــاجمٌ عـــن خلفيـــةٍ إشعاعية من المصادر المذكورة لا يمكن تفاديها، وجزء صـــغير فقـــط مـــن هـــذا التعرّض ناتج من مياه الشرب الحاوية على كميات صغيرة منطلقة مـــن محطـــات الطاقة النووية، والمستشفيات والمُستخدِمين الصناعيّين للمواد المشعة. تبلغ جرعـــة النظائر المسموحة في التجهيز بمياه الشرب والمُوصى بعدم تجاوزها قيمةً منخفضةً جداً لا تتعدى 0.244 mrem بالسنة وهي بالتالي تمثّـــل 1% مـــن قيمـــة الخلفيـــة الطبيعية. ورغم أن جرعة العظام أعلى بكثير، بسبب توجه السترونسيوم والراديوم إليها، إلا أن الجرعة فيها تمثّل أقلّ من 10% من متوسط الخلفيـــة الكليـــة. ولكـــن ونتيجة لعدم التثبّت من التأثيرات البيئية فلقد اعتمدت EPA قيم الـــ MCLs المدرجة في الجدول 5-1.

معايير ثانويّة

لقد أدرجت في الجدول 5-3 (SMCLs) لمعايير جمالية موصىً بها في مـــا يتعلق بالخصائص التي تصلح من نوعية الماء والتي لا يُرغب كثيراً باســـتخدامها، وهي معايير غير مرتبطة بالمخاطر الصحية، وغير نافذة وغير مفروضة من قبـــل الـــ EPA.

يدعو لون مياه الشرب الزائد ورغوتها ورائحتها، المستهلِكين إلى التساؤل عن درجة أمانها وإلى شكوى مستخدميها. إن للكلور والكبريتات والمواد الصلبة الكلية المذابة طعماً وخصائصَ تتسبب بالإسهال، كما تؤثّر المياه الممعدنة بشكل كبير في نوعية القهوة والشاي. إن كبريتات الصوديوم وكبريتات المغنيزيـــوم مـــوادٌ مليّنـــة معروفة باسم شائع جداً هو ملح غلاوبر (Glauber Salt)، ملح المانيزا (ملح إبسوم او الملح الإنجليزي). يلاحظ المسافرون أو القادمون الجدد الذين يتنـــاولون ميـــاه شربٍ ذات محتوىً عالٍ من الكبريتات تأثيرها الملّين، لكنهم سرعان ما يتـــأقلمون خلال زمن قصير نسبياً.

جدول 5-3: مستويات قصوى لملوّثات ثانوية لمعايير جمالية موصىً بها لمياه الشرب

ألمنيوم	0.05 إلى 0.2 mg/l
كلور	250 mg/l
لون	15 واحدة لون
نحاس	1.0 mg/l
آكاليّة	غير آكّال
فلور	2 mg/l
عامل رغوي	0.5 mg/l
حديد	0.3 mg/l
منغنيز	0.05 mg/l
رائحة	3 عتبات أرقام رائحة
pH	6.5 إلى 8.5
فضة	0.1 mg/l
كبريتات	250 mg/l
المواد المذابة الكليّة	500 mg/l
التوتياء	5 mg/l

تزيد كبريتات الألمنيوم التي يندر وجودها في المياه الطبيعية، من طرح الفلور في البراز، ويمكن أن يتسبّب ذلك في الإمساك. يوجد هيدروكسيد ألمنيوم في بعض أدوية معالجة الحمضية المُستخدمة لعلاج قرحة المعدة واضطرابها الناتجة من أحماض المعدة. تُستخدم مياه غير أكّالة ذات قيم pH معتدلة أو قلوية نوعاً ما للإقلال من تآكل الأنابيب، الأمر يساهم في وجود معادن أثر في الماء. أما الحديد والمنغنيز فهما عنصران مكروهان بسبب التبقّع البنيّ الذي يحدثانه في الغسيل وفي البورسلين، إضافة للطعم الحلو المر الذي يحدثه الحديد. لقد وُجدت كمياتٌ من

الفضة أقلّ بشكلٍ كبير من مستوى تأثيرها في الصحة في بعض المياه الطبيعية، وللجرعات العالية من الفضة تأثيرٌ تجميليٌّ في البشرة إذ تكسب البشرة والعيون والغشاء المخاطي لوناً رمادياً مزرقاً. أما التوتياء فهي مكوّن أساسيّ في غذاء الإنسان ولكن الكميات الزائدة منها تكون مهيجةً للمعدة والأمعاء.

4-5 وثيقة المياه النظيفة (Clean Water Act)

لقد فوّضت وثيقة المياه النظيفة (Clean Water Act, CWA) وكالة EPA توجيه وتحديد برامج ضبط تلوّث المياه الطبيعية[2]. والأهداف من ذلك هي المحافظة على النوعية الكيميائية والفيزيائية والحيويّة للمياه السطحية ومياه البحار والمياه الجوفية وذلك عبر وضع الاعتبارات البيئية وحماية صحة الإنسان قبل القضايا الاقتصاديّة. لقد أدّى حدوث تلوّث حيّز كبيرٍ من المياه الوطنية في عام 1972، إلى جعل الأهداف الرئيسة الإقلال من طرح الملوّثات والوصول إلى نوعية مياهٍ مؤقتة تحمي الأسماك والمحاريات والحياة البرية والوصول إلى مياه يمكن الصيد والسباحة بها أنّى تيّسر الوصول إليها. لقد كانت سياسة الكونغرس احترام المسؤوليات الأساسيّة لكل ولاية والمحافظة عليها للوصول إلى هذه الأهداف.

لقد كانت سياسات وثيقة المياه النظيفة الأوليّة هي السياسات الآتية:

- منع طرح الملوّثات السُميّة بكمياتٍ سامّة.
- تقديم مساعدة مالية لتشييد محطات معالجة مملوكة من قبل العموم مع مشاركة من الولاية والجهات المحلية (وهذا ما تمّ إنجازه في تسعينيات القرن الماضي).
- توظيف التخطيط والتصميم لمحطات معالجةٍ تكفي وتغطي مناطق واسعة.
- رعاية تطوير تقنياتٍ جديدة عبر بحوث ومشاريع عروضٍ على نفقة الحكومة الاتحادية.

- بحث ودراسة وتأسيس معايير نوعية المياه السطحية لضمان أن أهداف الوثيقة قد تمّ استيفاؤها.

يجب أن تكون كل المياه السطحية قادرةً على دعم الحياة المائية وأن تكون مريحة جمالياً، وإذا احتيج إليها للتجهيز المائي العام، ينبغي أن تعالج بالإجراءات التقليدية كي تصبح قابلةً للشرب ومستوفيةً لمعايير مياه الشرب. تتم المحافظة أيضاً على كثير من التجمّعات المائية والأنهار لجعل نوعيتها مناسبةً للسباحة والتزلج المائي وقيادة القوارب. تصنّف المياه السطحية عبر الولايات المتحدة وفقاً للاستخدامات المرادة منها والتي تتحكّم بالمعايير الفيزيائية والكيميائية والحيويّة المحدّدة، ومن ثم الضمان بإن أكثر الاستخدامات فائدة، لن تتضرّر بالتلوّث. والقرائن التي تحدّد نوعية الماء، هي الأكسجين المُذاب، والمواد الصلبة، والبكتيريا القولونية، والمواد السامّة، وpH، ودرجة الحرارة وأيّ متحوّلات أخرى تُعتبر ضرورية.

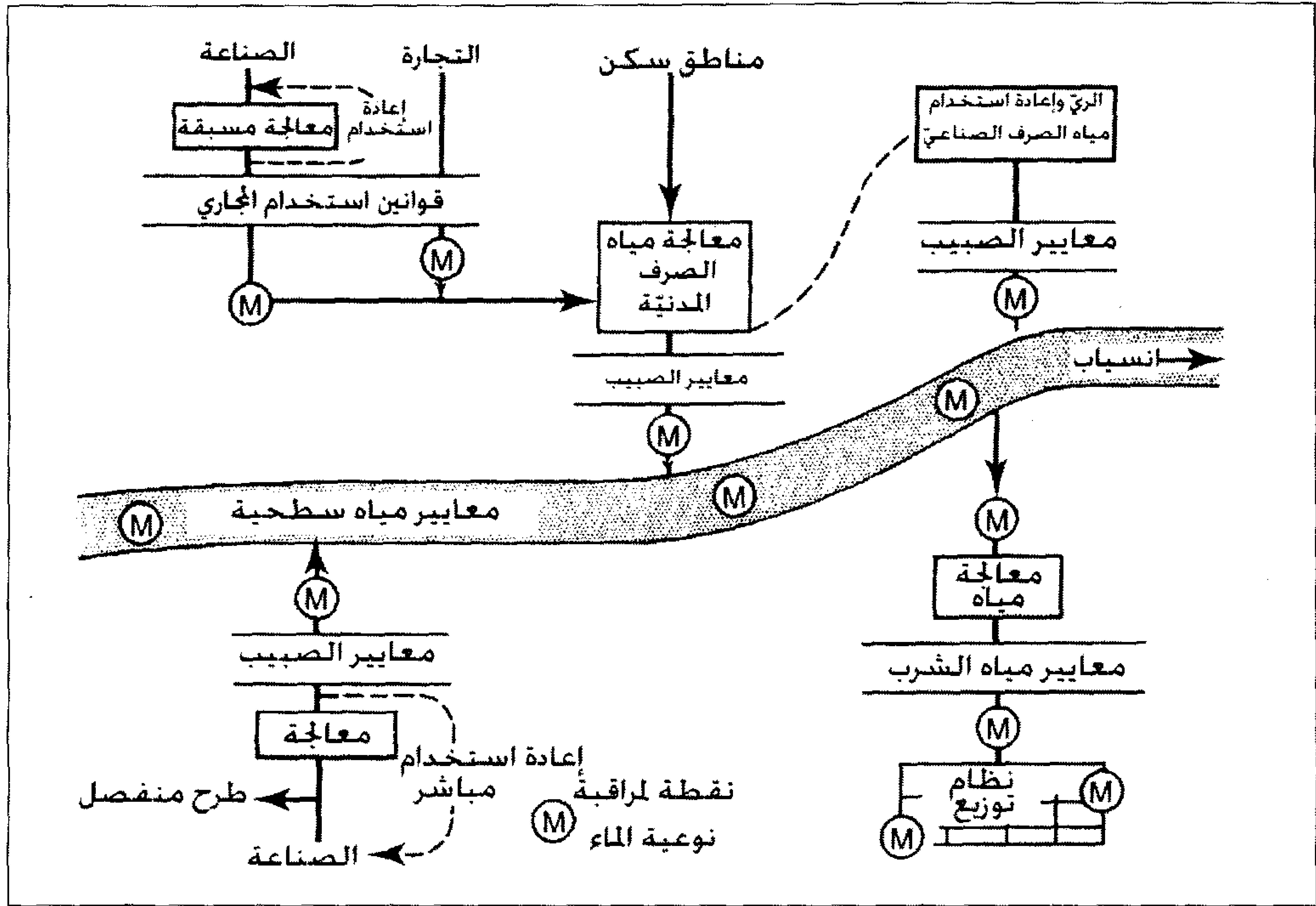
إن أهم تعديل جرى على الوثيقة هو النظام الوطني لإزالة الطّرح الملوّث (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES). لقد تمّ تحديد حدود الصبيب المستند إلى التقنية معزّزة بمعايير نوعية المياه السطحية، وذلك من أجل محطات المعالجة التي تصبّ الملوّثات عبر أنبوبٍ أو عبر الطّرح. وامتثالاً للقوانين يتوجّب على مالك محطّة المعالجة أن يراقب ويسجّل بياناتٍ ويدّون تقرير التصريف ويبلّغ عن أيّ انتهاكات. ولإنفاذ ذلك فإن أيّ منتهك، وكل من يقدّم بياناً أو ادعاءً كاذباً يتعلق بطرح الملوّثات، فسيُغرَّم وسيكون عرضةً لعقوبة محتملة بالسجن.

لقد جرى تغيير برنامج NPDES لمحطات معالجة مياه الصرف وتوسيع مداه عدّة مرّات منذ إطلاقه. فمن مجالاته المحدّدة نذكر معايير التدفّق، والترخيص

المستند إلى نوعية الماء، وضبط المواد السامّة، وبرامج معالجة مسبقة لمياه الصرف الصناعيّ، ومعايير جديدة للأداء، وتدابير احتياطيّة للتحريّات والمراقبة، وقرائن طرح الملوّثات في مياه البحر. إضافة إلى ذلك تمّ دمج عدّة برامج أخرى ببرنامج ترخيص الـــ NPDES، بما فيها ضبط الجريان المتحد مع فيضان المجاري، استخدام وطرح حمأة المجاري وذلك عبر تنظيم إدارة الممارسات والسويات المقبولة للمواد السامّة في الحمأة ، واستراتيجية حماية حدود الفصل المائي للمكاملة مع الـــ NPDES لدعم إدارة حوض الولاية. كما إن هناك قوانين إضافية مقترحة لتوسيع مجال نظام الترخيص لـــ NPDES تتضمن تقارير أكثر شمولية عن بيانات التشغيل، مراقبة موسعة لمتحوّلات التدفّق، مراقبة السُميّة الحيويّة للصبيب ونوعية حمأة الصرف[3].

5-5 النظام الوطني للتخلص من التصريف الملوّث (NPDES)

يظهر الشكل 5-1 معايير لنوعية مياهٍ مختلفة لها علاقة باستخدام المياه ومعالجتها وذلك لإدارة نظام مياه ومياه صرف متكامل. تحدّد معايير المياه السطحية النوعية المرغوبة في كل من المياه الجارية والمحتجزة. تحدّد معايير الصبيب النوعية التي يجب الوصول إليها من خلال معالجة مياه الصرفين المنزلي والصناعيّ. تضمن معايير المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعيّ المطروحة في مجارير المدينة عدم اختلاط النفايات الخطرة والسامّة مع معالجة مياه الصرف المدنيّة وكذلك عدم مرورها عبر محطّة المعالجة إلى المياه المتلقية لها. لقد وضعت معايير مياه الشرب لحماية الصحة العامة. والمواقع المرمزة بحرف M محاط بدائرة، هي نقاط مراقبة لاختبار نوعية المياه السطحية، ومياه الصرف ومياه الشرب.



شكل 5-1: تظهر هذه المخططات معايير نوعية المياه المختلفة المُستخدمة لإدارة نظام مياه ومياه صرف متكامل

تراقَب النوعية الحيويّة والكيميائية والفيزيائية لمياه الشرب لضمان عدم تجاوز التردي الناجم عن التلوّث المعايير الموضوعة. إن أكثر مناطق الاعتيان شيوعاً هي منطقة الاختلاط أسفل المجرى الناجم عن صبيب مياه الصرف، وكذلك أعلى المجرى مباشرة وذلك من خلال مسرب سحب محطّة معالجة الماء.

برنامج الترخيص

تصدر تراخيص النظام الوطني للتخلص من التصريف الملوّث (NPDES) محطات معالجة مياه منفردة بهدف الحدّ من الملوّثات وتحديد مصدرها. والملوّثات التقليدية المحتواة في مياه الصرف المحلية والتجارية والصناعية هي BOD وSS، والقولونيات البرازية، pH، والزيت، والدهون. تتضمن المواد السامّة مواد عضوية

صنعية ومعادن ثقيلة. أما الملوّثات اللاتقليدية فهي أيّ مواد إضافية لا تندرج تحت صنف المواد التقليدية ولا تحت صنف المواد السامّة كالنتروجين والفوسفور.

تضمن الترخيص لطرح مياه الصرف ما يأتي: شروط معيارية عامة لكل أنواح التراخيص، وحدود الصبيب الخاصّة بكل موقع، ومتطلبات الاستجابة للمراقبة والإبلاغ، والشروط الخاصّة بالموقع والضرورية لضبط الطّرح. تصف الظروف المعيارية النواحي القانونية للترخيص ولإمكانية إلغائه. كما تشرح واجبات المرخص لهم والتزاماتهم، فعلى سبيل المثال، المرخص له ملزم بالإبلاغ عن الظروف المتغيرة كي يسمح بالاستجابة للتحريّات وليقدّم طلباً بتجديد الترخيص. وأخيراً يتمّ إبلاغ المرخص له، بكل ما له صلة بالعقوبات التي يمكن تقديرها والمترتبة على سماحه بالانتهاكات. تستند حدود الصبيب المفروضة، إلى معايير تستند إلى التقنية وإلى نوعية الماء. تتحكّم شروط ترخيص NPDES أيضاً بإدارة حمأة مياه الصرف. ورغم أن EPA مسؤولة عن تشغيل وإنفاذ برنامج NPDES، إلا أنه يمكن أن تقوم بعض الولايات المنفردة وفق أولوية محدّدة بإنجاز هذه الوظائف وذلك بإشراف الـــ EPA.

إن NPDES برنامجٌ ذاتيّ المراقبة، فمالِك محطّة معالجة، سيكون وفقاً لهذا البرنامج مُطالَباً بأن يكون مسؤولاً عن الاستجابة للمراقبة والإبلاغ عن الأداء في معالجة مياه الصرف والحمأة بما فيها أيّ انتهاكات لشروط الترخيص. تحدّد القيود على الصبيب واحتياطات المراقبة، الإجراءات التي يتوجّب استخدامها في الاعتيان، وقياس التيار، والفحوصات المخبريّة، ومسك السجلات. يتطلب التشغيل والصيانة الإبلاغ عن عطل نظام المعالجة، وتحوّل مياه الصرف غير المعالجة إلى ممر جانبي، واضطراب عملية المعالجة. ومتطلبات الإبلاغ الإضافية هي أيّ تغيّر في الطّرح، أو بعدم الالتزام بالإشعار وبجدول الالتزام. إن إنفاذ وتطبيق الإجراءات بحق غير الملتزمين يكون عبر خطواتٍ إداريّة تتراوح بين اتصالات غير رسميّة

إلى أمر إداريّ إلى عقوبات مالية. ويمكن اتخاذ إجراءات قضائيّة مدنيّة أو جزائيّة إذا كانت الانتهاكات خطيرة.

معايير التدفّق

تتطلب المعايير المستندة إلى التقنية، معالجةً ثانوية (حيويّة) لكامل مياه الصرف المدنيّة مع الالتزام بالقيود التالية المحدّدة لمحتوى الملوّثات التقليدية. ينبغي ألا يتجاوز المتوسط الحسابي لتراكيز كل من BOD وSS في العينات المركبّة المأخوذة على مدى 24 ساعة خلال فترة تمتد 30 يوماً متتالياً، قيمة 30 mg/l، وألا تتجاوز قيمة المتوسط الحسابي قيمة 45 mg/l لأيّ فترةٍ تمتد 7 أيام متتالية. علاوةً على ذلك فإن إزالة الـ BOD وSS ينبغي أن تكون بنسبة 85%. وفي ما يتعلق بالزيوت والشحوم، فينبغي ألا يتجاوز المتوسط الحسابي لتراكيزهما قيمة 10 mg/l لأيّ فترةٍ تمتد 30 يوماً متتالياً أو 20 mg/l لأيّ فترة تمتد 7 أيام متتالية. ينبغي أن تبقى قيمة pH ضمن حدود 6.0 إلى 9.0. وإضافة لهذه المتطلبات الأساسيّة، قد تحدّد معايير أكثر تقييداً لنوعية طرح المياه المعالجة، وذلك للالتزام بالقيم الحديّة الخاصّة بموقع محطّة معالجة بعينها (القيم الحديّة لموقعٍ ما).

تنطبق المعايير المستندة إلى نوعية الماء التي تتلقى طرح مياه صرف، سواء أكانت مياهاً سطحية أو مياهاً جوفية أو مياه بحر. إن فرض معايير صبيب مستندة إلى التقنية لا تضمن عدم تلويث مياه الصرف المعالجة للمياه التي تتلقّاها. قد لا يكون تخفيف المياه السطحية مناسباً للحدّ من تراجع نوعيتها، كما يمكن لتبخر مياه صرفٍ طُرحت في حوض جدول جاف، التسبب بتركيزات متزايدة للملوّثات في الماء الراشح الذي يصل إلى للمياه الجوفية، لذلك يكون لحدود المعايير المستندة إلى نوعية المياه الأولوية على الحدود المستندة إلى التقنية. إن مراقبة المياه التي تتلقى مياه الصرف أمرٌ أساسيّ لضمان الالتزام بالمعايير المستندة إلى نوعية الماء. إن

مالك محطّة المعالجة مسؤول عن الالتزام والمراقبة، ومسك السجلات، والإبلاغ كما هو محدّد في ترخيص الطّرح.

تستخدم الاستراتيجية المتكاملة للحدّ من التلوّث المستند إلى نوعية الماء بهدف حماية الحياة المائية المقاربتين التاليتين: ضبط ملوّثات محدّدة، واختبار سميّة الصبيب عبر تحاليل حيويّة. يتمّ القيام بضبط ملوّثات محدّدة من خلال وضع حدود عدديّة للمعادن السامّة والمواد العضوية الكيميائية وللملوّثات اللاتقليدية كالأمونيا والكلور، والتي تؤثّر بصورة عكسية على الحياة المائيّة. إن المصدر الأكثر احتمالاً للتسبب بالمواد الكيميائية السامّة في مياه صرف جماعات ما، هو صبيب الصرف الصناعيّ في نظام المجارير، لذا ينبغي اختبار هذا الصبيب أولاً لتحديد مواد كيميائية محدّدة بغية ضبطها والحد منها. قد تكون المصادر الأخرى لملوّثات منقولة بشاحِنات صهاريج أفرغت حمولاتها في محطّة المعالجة. ونظراً إلى أن حدود المعايير المستندة إلى نوعية الماء تتم مراقبتها عبر اختبار مياه الصرف والمياه السطحية وذلك بعد مزجها، تأخذ المعايير المستندة إلى نوعية الماء، التخفيف بالاعتبار. وعموماً فإنه يتمّ وضع حدود عدديّة لملوّثات محدّدة في صبيب مياه الصرف إن كان التخفيف في نطاق المزج غير مناسب.

إن إزالة الملوّثات الكيميائية التي تمر عبر محطات معالجة مياه الشرب بواسطة عمليات تطبق بفاعلية في هذه المحطّات صعبة جداً إن لم تكن مستحيلة. تتمثّل مقاربة حماية المياه السطحية والجوفية كمصادر للتجهيز بمياه الشرب، في مراقبة مواد كيميائية محدّدة والحدِّ منها. لذا قد تكون المعايير المستندة إلى نوعية الماء لتدفّقات مياه الصرف هي معايير مياه الشرب نفسها. وبعبارات أخرى، يجب أن تلتزم النوعية الكيميائية المراقبة للمياه السطحية والجوفية، بالمستويات القصوى لملوّث ما والمحدّدة لمياه الشرب.

ومن الملوّثات محدودة السُميّة واللاتقليدية الفوسفور، والذي يعتبر مفتاحاً للتحكّم بمعدل أترفة (اخضرار الماء الآسنة) البحيرات والخزّانات والمصبات. يساهم النتروجين المتأتي من تدفّقات مياه الصرف أيضاً في تخصيب المياه المحتجزة. ولكن التلوّث الكبير بالنتروجين يأتي في الواقع من مصادر غير مسيطر عليها كالصرف القادم من الأراضي الزراعية ومن حقيقة تثبيت الطحالب الزرق - الخضر في الماء لنتروجين الغلاف الجوي.

إن التأثير المعاكس للأترفة هو النمو السريع للنبات ما يسبب ازدهار الطحالب، وازدياد عكورة الماء، وتشكّل كتل طافية قبيحة تحملها الرياح إلى الشاطئ. ترسب الطحالب المتحلّلة إلى قاع البحيرة أو الخزّان المائي منقصةً بالتالي DO في الطبقة العميقة الباردة (الهيبوليمنيون) والذي تحتاجه الأسماك المُستخدمة في الطعام المميز. بالإضافة إلى الطحالب، قد تختنق خطوط الشواطئ والخلجان الضحلة بالأعشاب الضارّة عبر نمو خصب لنباتات مائية متجذرة.

إن معيار القولونيات البرازية في الصبيب أكثر المعايير تقييداً، وذلك في حال كانت المياه المتلقيّة لهذا الصبيب مصدراً لمياه الشرب، أو إن كانت ذات استخدامات مفيدة كالاستجمام بتماس الماء، أو إذا كانت مياه الصرف تصبّ في جدول منخفض الجريان يمر في منطقة سكنية. وبتخفيض حدود القولونيات، فإن عمليات التعقيم الأقوى المطلوبة في المعالجة ستخفّض أعداد العضويات المجهرية المُمرضة في التدفّق. وفي بعض الحالات قد تكون المعالجة الثانوية بزيادة مدة التماس مع الكلور مناسبة. وفي حالات أقلّ قد تكون المعالجة الثالثية عبر التخثّر الكيميائي والترشيح والكلورة ضرورية للوصول إلى الإزالة المرغوبة للقولونيات والمُمرضات. تنقي المعالجة الثالثية الصبيب عبر إزالتها الـ BOD والمواد الصلبة المعلقة.

قانون الحمولة اليوميّة القصوى الكلية (Total Maximum Daily Load) (TMDL)

إن الحمولة اليوميّة القصوى الكلية (Total Maximum Daily Load, TMDL) هي حسابٌ للكمية القصوى لملوّثٍ منفرد يمكن للمياه السطحية أن تستقبله وتبقى مستوفيّةً لمعايير نوعية الماء. تتضمن مصادر التلوّث كل من مصادر نقطية (محطات معالجة مياه صرف) ومصادر لا نقطية كصرف أراضٍ زراعية، والتعدين، وجريان المياه السطحية المدنيّة. وللمعادلة بين التغيّرات الموسمية لجريان المياه السطحية والخصائص الكيميائيّة، فإنه ينبغي أن يتضمن TMDL الذي تمّ حسابه، هامش أمانٍ مناسب. إن برنامجاً لــ TMDL لإدارة حدود الفصل المائي يتضمن إصدار تراخيص TMDL منقّحة لضبط الصبيب من محطات المعالجة. يفضّل التعبير عن حدود ملوّثٍ ما في الصبيب استناداً إلى نوعية المياه، بعدد الباوندات التي يتمّ طرحها يومياً، على التعبير عنها بعدد mg/l في صبيب مياه الصرف.

وتحت وثيقة المياه النظيفة، فإن الولايات مطالبة بتحديد مياهها السطحية التي لا تستوفي معايير محدّدة لنوعية الماء، أو لا تستوفي الاستخدامات المفيدة المختارة. لقد وُجد في تسعينيات القرن الماضي، أن نسبةً معتبرةً من مياه الولايات المتحدة متدهورة استناداً إلى معايير النوعية أو استناداً إلى الاستخدامات المفيدة. ومعظم هذه المياه متدهور ولا يصلح لا للصيد ولا للسباحة ولا كمصادر لمياه الشرب. والأسباب الرئيسة في ذلك هي الترسيب الزائد، ووجود مغذيات النباتات (فوسفور ونتروجين) والعناصر المُمرضة.

وتتمثل الأسباب الأخرى بمحتوىً منخفض من DO والمعادن السامّة وتغيير الموطن الطبيعي، وpH، وSS والمبيدات الحشرية. ونتيجة لذلك فقد اقترحت EPA تطبيق قانون TMDL لاستصلاح هذه المياه للإيفاء بشروط معايير النوعية والاستخدامات المفيدة.

يتطلب توظيف قانون TMDL لتحسين نوعية المياه المتدهورة احتياجات محدّدةً من برنامج المياه النظيفة. إن عشر الضرر اللاحق بالماء خلال تسعينيات القرن الماضي، يرجع إلى مصادر نقطية فقط، بينما كان سبب التسعة أعشار الباقية مصادر لا نقطية، أو اشتراك مصادر نقطية وأخرى لا نقطية. تحدّ هذه الحقائق من نجاح نظام ترخيص NPDES للمصادر النقطية فقط. إن تحديداً كميّاً للمصادر اللانقطية يمثّل تحدياً، نظراً إلى كونها منتشرةً ومؤقتة ومتغيرة إلى حدٍ كبير ضمن جريانات مختلفة. وضمن هذه الأوليات فإن التحديد المستمر والموحد للمياه المتدهورة يتطلب دليلاً واضحاً بشأن ذلك من الــ EPA. ويتطلّب الأمر معايير واضحة للمياه لتحديد الملوّثات الرئيسة في الرسوبيات والمغذيات والمُمرضات، وكذلك تحديداً أفضل للتدهور البيئي من قبيل تغيّر الموطن الأصلي. كما يتطلب الأمر نماذج أفضل لنوعية الماء للتقفي الرياضي لحركيات الملوّثات عبر المياه السطحية.

إن النماذج الحالية للانسياب في الطقس الجاف بسيطة جداً، والكثير من البرامج المعقدة قد وضعت متطلبات إدخال لا تتوفر عموماً بيانات عنها. ويتطلب حساب TMDL تحديد الظروف البيئية وإسهام كل حمولة من الحمولات المتوفرة بين المصادر النقطية واللانقطية. وباختصار، يتطلب برنامج إدارة حدّ الفصل المائيّ طريقةً موثوقةً لتحديد المياه المتدهورة، ومعايير مناسبة لنوعية الماء، واستخدامات واقعيّة مفيدة، ونماذج رياضية تتضمن إدخالات تقديرية لانقطية، ودليلاً عملياً لتحديد حصص المساهمين بملوّث محدّد.

برنامج المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعيّ

يمكن أن تحتوي مياه الصرف التي تطرحها الصناعة مواد سامّة أو ضارّة بتراكيز غير شائعة في مياه الصرف المحلية. وتبدي الملوّثات غالباً مخاطر جدّيّة على نظام المجاري ومحطّة المعالجة، نظراً إلى أن أنظمة الجمع والمعالجة ليست

مُصممّة لهذه النفايات. ويمكن لهذه الملوّثات أن تتداخل مع عملية المعالجة الحيويّة، ومعظمها يصعب إزالته وبالتالي ينسلّ إلى المياه المستقبلة له ويلوّثها. والحمأة الملوّثة بهذه المواد السامّة أيضاً تؤثّر بشكل عكسيٍّ في التوازن الحيوي ويزيد طرحها من المخاطر البيئية. يمكن منع هذه التأثيرات غير المرغوبة المترتبة من طرح مياه الصرف الصناعيّ في مجارير المدينة. كما يمكن إزالة الملوّثات أو القضاء عليها قبل طرح مياه الصرف، وذلك عبر استخدام تقنيات مُثبتة مؤكّدة لضبط المعالجة، أو بتطبيق أساليب تصنيع تُشجع التدوير (Recycling). وتُعرف هذه الأساليب بالمعالجة المسبقة (Pretreatment).

تتطلب قوانين EPA للمعالجة المسبقة من محطات معالجة مياه صرف المدن أن تؤسّس برنامجاً محلياً مُعْتَمَداً للاندماج مع برنامج تراخيص NPDES. وتتمثل الأهداف بمنع طرح الملوّثات في محطّة المعالجة والتي تؤثّر عكسياً في عمليات المعالجة، وتتداخل مع الطّرح أو مع إعادة استخدام حمأة مياه الصرف أو تمر عبر العمليات المعالجة. تطور محطّة معالجة ذات صلاحية ضبط وتحكم نظام المعالجة المسبقة المعتمد وتقوّم التزام صبيب الصرف الصناعيّ وتبدأ بإقامة دعاوى قضائيّة تجاه الصناعات غير الملتزمة. ويكون الإشراف على البرنامج من قبل البلدية أو الولاية أو الـــ EPA. تصدر السلطة المخوّلة بالمراقبة تراخيصاً لطرح مياه صرف صناعي في مجاري المدينة وتجهّز قانوناً لمجاري المدينة. تتضمن التراخيص حدوداً عدديّة للملوّثات المراقبة ومتطلبات الاعتيان، وقياس الانسياب، والفحوص المخبرية والإبلاغ والتقارير.

إن سَحْب مياه الصرف إلى محطّة المعالجة بشاحنات صهاريج مسموح أيضاً ومطلوب بهدف التجاوب مع معايير المعالجة المسبقة. ينبغي لكل شاحنة أن تملأ استمارة طلب ترخيص، يُسلّم إلى سلطة المراقبة.

اختبار السُميّة الحيويّة للتدفق

يُطلب من محطات منتقاة لمعالجة مياه صرف المدن أن تُجري اختباراً حيوياً شاملاً للصبيب وفقاً لتراخيص NPDES الممنوحة لها. تُنجز هذه المقايسة الحيويّة لتقدير السُميّة عبر تعريض عضويات مائية منتقاة إلى دفق مياه الصرف في بيئة مخبريّة مراقبة. وفي اختبار سكوني لأمد قصير (محدّد من قبل الـ EPA بأنه اختبار سميّة الصبيب الكلية (Whole Effluent Toxicity, WET)) توضع مياه صبيب ومياه غير ملوّثة في وعاءين مِخبريين، ويضاف إلى كل منهما عضويات الاختبار، ثم تُراقَب التأثيرات السُميّة في بيئةٍ مخبريّة مراقبة. والهدف من ذلك تقدير مستوى الأمان أو مستوى لا تأثير- مستوى عكسي- مستوى ملاحظ (Safe, no- observed-adverse-effect Level)، ما يسمح بتكاثر طبيعي للحياة المائية في المياه المُستقبلة له.

والأوعية المخبريّة المُستخدمة مصنوعة إما من زجاج البورسيليكات أو من البوليستيرين الذي يستخدم مرة واحدة، يتراوح حجمها من 250 ml إلى 1000 ml تبعاً لحجم العضويات المختبرة. خلال فترة الاختبار ينبغي أن يكون تركيز DO قرب الإشباع بدرجة حرارة قدرها $25^{\circ}C$ مع قياس الـ pH بشكلٍ دوريٍّ. والصبيب عبارة عن عينةٍ مركبّة أُخذت على مدى 24 ساعة رُشّحت بمنخلٍ لإزالة المواد الصلبة المعلقة. وخلال تحضير الصبيب ينبغي أن تكون التهوية محدودةً لمنع فقد المركّبات العضوية الطيّارة.

إن العضويات الشائعة في اختبار الماء الدافئ هي المنوة ذات الرأس السمين (Pimephales Promelas) وبُرغوث الماء (Ceriodaphnia Dubia) والطحالب الخضراء (Selenastrum Capricornutum). لقد طوّرت بعض الولايات طرق استنبات واختبار للأنواع المستوطنة.

ويعبّر عن نتيجة الاختبار بعدد الوفيات بعد تعرض 24 ساعة. ويُعرّف تراجع نسبة بقاء على قيد الحياة قدره 25% بأنها عتبة الخطورة الحيويّة، والتي تشير إلى تدهور محتمل للمياه المستقبلة.

إن تدهور المياه المستقبلة وسُميّة الصبيب مرتبطان بتخفيف الصبيب ضمن المياه المستقبلة. ولذلك يجب إجراء اختبار سميّة أكثر تحديداً بإعداد سلسلة من الأوعيّة المخبريّة بتخفيف متناقص للتدفّق، من قبيل 100%، 50%، 25%، 12.5%، 6.25% (سلسلة هندسية). ويُحتمل أن يشمل مجال التخفيف هذا، انسياب الصبيب بالنسبة إلى صبيب منخفض مُسجّل في أنبوب .in 1 لمدة سبعة أيام مستمرة خلال عشر سنوات، والذي يمثّل عادةً انسياباً في نهر أو جدول مبرهناً إنه أقصى تركيزٍ مسموح للملوّثات تنصّ عليه معايير المياه السطحية. تؤخذ مياه التخفيف من الجدول المستقبل للصبيب قبل أنبوب الطّرح أو من جوانب نطاق المزج. ويتم ترشيحه عبر شبكة بلانكتون (عَوالِق Planktons) لإزالة العضويات المستوطنة التي يمكن أن تهاجم أو أن يُخلط بينها وبين عضويات الاختبار. وكبديل يمكن أن تكون مياه التخفيف مياهاً معدنية متوسطة العسرة. يمكن أن تُنجز هذه الاختبارات إما لسميّة حادة لمدة 24 ساعة أو لسميّة مديدة بمراقبةٍ تمتد حتى 7 أيام. وفي الاختبار المديد يتمّ تقديم الغذاء لمستنبتات المتعضي، كأن يقدّم للمنوه ذات الرأس السمين السمك المفلطح أو قريدس (جمبري) ماءً مالحاً. ويمكن للاختبارات المديدة أن تكون اختبارات سكونية – تجددية (Static-renewal Tests)، حيث تنقل عضويات الاختبار كل 24 ساعة إلى محلول جديد له تركيز مياه الصرف نفسه. استناداً إلى نتائج الاختبار، يتمّ تقدير تركيز عدم ملاحظة تأثير عكسي للصبيب في عينات الاختبار المخففة. ويمكن أن تُقارن مع نسبة مياه الصرف والتي خُفّفت بانسيابٍ منخفض لأنبوب .in 1 لمدة سبعة أيام مستمرة خلال عشر سنوات.

إذا أشارت الاختبارات الحيويّة إلى سميّة، فإن الأمر يتطلب تقويماً كيميائياً للتدفّق. ويمكن أن يكون ذلك مكلفاً إلا إذا كان من الممكن الإقلال من المواد السامّة المحتمل وجودها إلى رقمٍ معقول. إن أفضل طريقة لتحديد المواد السامّة ومصادرها هو إعداد قائمة تفصيلية بالملوّثات السامّة المتأتية من الصناعة والتي تدخل في مياه الصرف، ويتطلب برنامج معالجة مسبقة ملائم، اعتياناً وقياس انسياب، وفحوصاً مخبريّة، وتقديم تقارير. وبعد تحديد كميات الملوّثات، يمكن اتخاذ إجراءات لتخفيف سميّة الصبيب أو إزالتها، وذلك عبر معالجة مسبقة صناعية ومعالجة محسنّة لمياه صرف المدن.

نوعية المياه الجوفية

تنطبق المعايير المستندة إلى نوعية المياه، على المياه السطحية وكذلك على المياه الجوفية. تهدف استراتيجية NPDES لحماية حدّ الفصل المائيّ، إلى تعزيز حماية المياه السطحية، والمياه الجوفية، والمواطن الطبيعية. إن حماية المياه الجوفية هامةٌ على وجه الخصوص، نظراً إلى أن 50% تقريباً من سكان الولايات المتحدة يعتمدون على المياه الجوفية كمصدر للمياه، 30% منها يتمّ إيصالها عبر الأنظمة المشتركة، و20% منها عبر آبارٍ محلية. ونظراً إلى كون المياه الجوفية مصدراً اقتصادياً عالي النوعيّة، يُتوقع أن يزداد الطلب عليها للاستخدام المحلي.

تتطلب درجة معالجة مياه الصرف التي تصبّ في مناطق تكون فيها المياه الجوفية قابلة للشرب وعرضةً للتلوّث، استصلاحاً عبر معالجة مياه صرف ثالثية أو معالجة متقدمة. ينبغي أن يستوفي الارتشاح الواصل إلى الحامل المائي بمعايير مياه الشرب، نظراً إلى أنه لا يمكن تقدير مدى انتشار و/أو التخفيف التعقيم الطبيعي في المياه الجوفية. إن طلب تحقيق هذه الدرجة العالية من المعالجة يشجع إعادة استخدام الصبيب للريّ الزراعيّ وضمن المدن كبديلٍ عن طرحه.

إن درء التلوّث هو مفتاح إدارة نوعية المياه الجوفية. فبعد تلوّث الحامل المائي تغدو الإجراءات العلاجية عادةً غير فعّالة، نظراً إلى أن تنظيف معظم الحوامل المائية غير ممكن تقنياً أو اقتصادياً. ويتطلب التعقيم الطبيعي عقوداً من السنين، وإن لم تتحلل الملوّثات أو تخرج من الحامل المائي عبر انسياب دافق وغزير للمياه الجوفية فإن التطهير الطبيعي قد لا يحدث مطلقاً. إن معرفة المصادر المائية المحتملة والفهم الشموليّ لهيدرولوجية المنطقة أمران أساسيّان لدرء التلوّث.

مصدر نقطي	مصدر لانقطي
الدرء (حماية المياه الجوفية)	
اختيار الموقع، تصميم، إشادة، وتشغيل	تجهيز الموقع وضبط استخدام المواد الكيميائيّة
مراقبة (إنذار مبكر)	
اختبار المياه الجوفية في الآبار المحفورة حول الموقع5	اختبار المياه الجوفية في آبار المراقبة والريّ والتجهيز بالماء 5
تخفيف (إزالة المصدر)	
إعادة بناء الموقع أو تعديله أو هجر التشغيل	تغيير طريقة التطبيق، أو الحدّ أو منع الاستخدام الكيميائي.
(أمثلة: برك مياه الصرف، الردم الترابي، وأكوام النفايات، والخزّانات المطمورة، وآبار الحقن العميق)	(أمثلة: استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة على الأراضي الزراعية، استخدام مياه الصرف في ريّ الأرض)

شكل 5-2: إدارة نوعية المياة الجوفية

إن المخطط الأساسي لدرء التلوّث، والمراقبة، وتخفيض المصادر النقطية واللانقطية للتلوّث موضحة في الشكل 5-2. يرتكز الدرء الفاعل للتلوّث المتأتي من المصادر النقطية كبرك مياه الصرف، والردم الترابي، وأكوام النفايات، والخزّانات المطمورة، وآبار الحقن العميق، على اختيار الموقع، والتصميم الموجه، والإنشاء

الملائم، والتشغيل الدقيق المتزن. واستراتيجياً يُوصى بإيجاد آبار مراقبة حول الموقع لاختبار المياه الجوفية بهدف الإنذار المبكر بتلوّثٍ محتمل. ومع بدء التلوّث، ينبغي اتخاذ إجراءات تخفيفيه توخياً لإيقاف أضرار أكبر وذلك عبر إزالة السبب من خلال عمليات إعادة بناء أو التعديل. وعادةً يمكن ضبط مصادر التلوّث اللانقطية الناتجة من وضع مواد كيميائية على سطح الأرض، من خلال إجراءات تنظيمية. إن الاستخدام الزراعي للمبيدات الحشرية والأسمدة ونثر الأملاح على الطرق السريعة لإذابة الثلج، أمثلة على مصادر تلوّث محتملة. ويكون درء هذا التلوّث عبر ضبط طريقة الدرء ومعدلها. يمكن للمراقبة أن تُنفّذ عبر اختبار عينات مياه جوفية مأخوذة من آبار المنطقة، مثل آبار المراقبة التي تُسجّل مناسيب المياه الجوفية، وآبار الري، والتجهيزات العامة والخاصة بالماء. إن خفض التلوّث غالباً ما يكون صعباً لأن الاقتصاديات العامة والإقليمية قد تعتمد جزئياً على استخدام المواد الكيميائية. وقد يكون الإقلال من استخدامها أو تغيير طرائق التشغيل مقبولاً، أو قد يمنع استخدامها في الحالات الصارمة.

6-5 نوعية مياه البحر

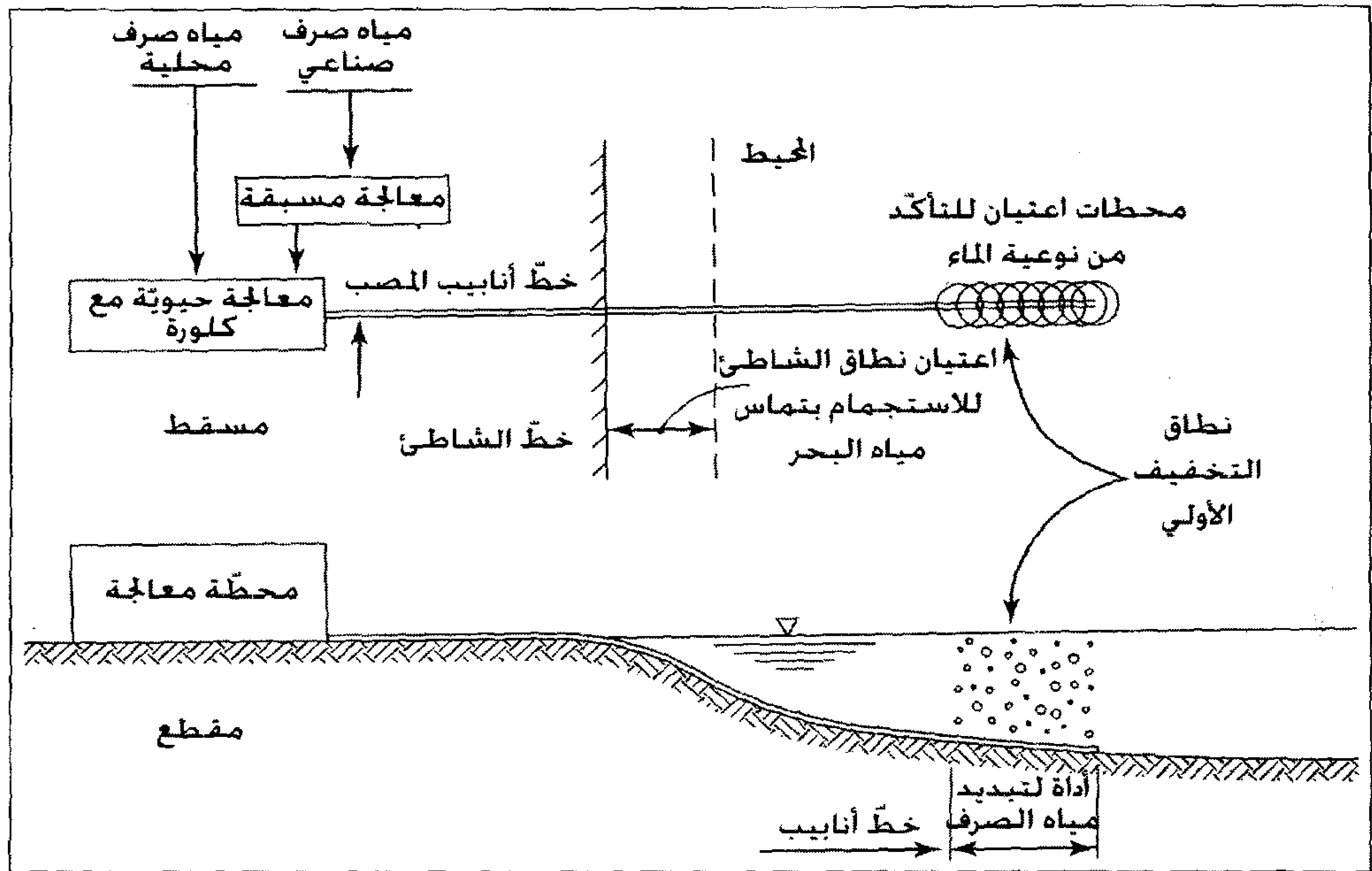
إن الاستخدامات المفيدة الرئيسة والتي ينبغي حمايتها هي الاستجمام بتماس مياه البحر أو من دونه، والصيد التجاري ورياضة الصيد، والموطن البحري، وحصاد المحاريات (بلح البحر، البطلينوس، المحاريات) وتجهيز الصناعة بالماء.

يتطلب طرح مياه الصرف في المحيط إشادة مصب بحري كما هو موضّح في الشكل 5-3، يتكون من خطّ أنابيب يمتدّ إلى المياه العميقة نسبياً، زُوِّدت نهايته بأداةٍ لتبديد مياه الصرف مع عدد من المنافذ المتباعدة لتفادي التخفيف الأولي. وبطريقة الطّرح هذه، يمكن تأمين تخفيفٍ أولي كافٍ للتقليل إلى الحدّ الأدنى من تركيز المواد التي لم تُزَل بالمعالجة الحيويّة، وبكلورة طرح مياه الصرف. ويتم اختيار موقع الطّرح من خلال تقييم الخصائص المحيطية وأنماط التيار وذلك لضمان عدم وجود

مُمرضات في مناطق حصاد المحاريات أو في مناطق الاستجمام بتماس مياه البحر. فضلاً عن ذلك، ينبغي للموقع أن يؤمّن أقصى حماية للبيئة البحرية.

نوعية الماء في نطاق التخفيف الأولي

يتم تقدير الالتزام بالمعايير البكتيرية والفيزيائية والكيميائية لنوعية المياه عبر عينات جمعت من محطات تمثّل نطاق التخفيف الأولي بواسطة قارب (شكل 5-3). ومن أجل معايير التماس مع الماء يتمّ القيام عموماً باعتيان قولونيات، وذلك اعتباراً من خطّ الشاطئ وبعمق 1000 قدم في المحيط أو حتى خطّ 30 لتساوي العمق، أيهما أبعد. إن المعيار النموذجي للقولونيات هو معدّل أقلّ من 1000 قولونية كلية في كل 100 ml خلال أيّ فترة مدتها 30 يوم، شريطة ألا تتجاوز القولونيات البرازية في أيّ عينة منفردة 10000 ml في 100. وينبغي أيضاً أن لا يتجاوز المعدّل، قيمة متوسط هندسي قدره 200 قولونية كلية في كل 100 ml، وبحيث لا تتجاوز النسبة الحاوية على 400 قولونية قي الـــ 100 ml، و قيمة 10% خلال أيّ فترة مدتها 60 يوم، (معيار كاليفورنيا). وفي كل المناطق التي يتمّ اصطياد المحاريات للاستهلاك البشري ينبغي أن لا يتجاوز عدد القولونيات الكلّي 70 لكل 100 ml، على ألا يتجاوز عددها 230 لكل 100 ml في 10% من الاختبارات المنفّذة. وبالأصل يجب أن يكون صبيب مياه الصرف المطروح خالياً من الجزء الطافي، والمواد المترسبة، والمواد السامّة، والعكورة واللون، والتي يمكنها أن تتداخل مع الحياة البحرية الفطرية الأصيلة، ومع التجمّعات البحرية المتنوعة المعافاة. إن الخصائص الفيزيائية في نطاق التخفيف الأولي للالتزام تتضمن عدم وجود دقائق (Particulates) طافية أو شحوم أو زيوت وكذلك عدم وجود تبقّع أو زوال لون سطح المحيط. ينبغي أن لا يُضعف اختراق الضوء الطبيعي بشكلٍ معتبر خارج نطاق التخفيف الأولي، كما ينبغي أن لا يتسبّب ترسيب المواد الصلبة بتقهقر المجتمعات الحيويّة القاعيّة.



شكل 5-3: مسقط تخطيطي ومقطع توضيحي جانبي للطرح البحري

تحد التغيّرات الكيميائية من DO إلى ما دون 10%، ومن انخفاض الـ pH أكثر من واحدتين، ومن زيادة تركيز الكبريت المُذاب، ومن زيادة تركيز المواد المتحلّلة في الرسوبات، ومن زيادة المغذيات الأمر الذي يتسبّب بنموٍ غير مرغوب للنباتات المائيّة. وينبغي ألا يتسبّب تغيّر الخصائص الحيويّة للمياه بتقهقر الفقاريات واللافقاريات والأنواع النباتية، أو بتغيّر الطعم والرائحة واللون الطبيعي للأسماك والمحاريات التي تُستخدم في الاستهلاك البشري، أو بزيادة التراكم الحيوي للمواد السامّة في الأسماك والمحاريات لدرجة تغدو فيها ضارّة للصحة البشرية. لا يمكن للنشاط الإشعاعي أن يتسبّب بتردّي الحياة البحرية.

قيود نوعية الصبيب لطرح مياه الصرف

لقد حُددّت متطلبات نوعية الصبيب من أجل طرح مياه الصرف كقيود على المكوّنات الرئيسة لمياه الصرف، وعلى المواد السامّة لحماية الحياة البحرية، وعلى المواد المسرطنة واللامسرطنة لحماية الحياة البشرية. تنطبق متطلبات النوعية على

مياه صرف المجتمعات السكنية ومياه الصرف الصناعيّ وطروحات أخرى مثل مياه التبريد المتأتية من محطات توليد الطاقة. تتضمن القيود على المكوّنات الرئيسة لمياه الصرف محدّدة في الجدول 5-4 من قبل ولاية كاليفورنيا، الشحوم والزيوت، وSS، والمواد الصلبة المترسبة، والعكورة، وpH، والسُميّة الحادّة. إن القيود على مواد سامّة محدّدة هي غالباً المعادن الثقيلة والمبيدات الحشرية، وُضِعت في قائمة مستقلة، كما ضمنت BOD من أجل مياه الصرف المحليّة. تتم مقايسة السمك حيوياً من أجل السُميّة الحادة، بواسطة سمك أبو شوكة (Gasterosteus Aculeatus). تتضمن الأنواع الحيويّة لاختبار المقايسات الحيويّة للسميّة المديدة، سمكة الجانب الفضي، وحيوان رخوي (قريدس، محارية)، ونبات مائي (طحالب حمراء، أعشاب البحر العملاقة). تتباين مدة اختبارات السُميّة من 48 ساعة إلى سبعة أيام وذلك تبعاً للأنواع.

لقد وضعت ولاية كاليفورنيا قائمةً بقيود على نوعية الصبيب في ما يتعلق بالمواد الكيميائية المُسرطنة واللامسرطنة من أجل حماية الصحة البشرية. إن القيود المسموحة في صبيب محطّة معالجة محدّدة يمكن أن تختلف عن التراكيز المُدرجة في القائمة والمستندة إلى تخفيفٍ أوليٍّ محسوب. يُقّدر عامل التخفيف باستخدام نموذج رياضي مُعتمد. تتضمن خصائص مخرج التصريف والتي تُستخدم كمدخلات النموذج، طول أداة تبديد مياه الصرف، عدد المنافذ وتباعدها، قطر المنفذ، ومقدار الزاوية التي يصنعها مع المستوى الأفقي، معدّل عمق المنفذ تحت مستوي سطح البحر، ومعدل طرح مياه الصرف. إذا كان عامل التخفيف عالياً بدرجة كافية، يمكن زيادة القيود على مواد كيميائية محدّدة في طرح مياه الصرف للاستفادة من التخفيف الشديد الذي تمّ في أثناء المزج الأولي. ولحماية الصحة البشرية، وُضعت قيود للصبيب لعدد من المواد الكيميائية المُدرجة في القائمة، وذلك عند المستويات الدنيا لكشف هذه المواد بتقنية اختبار محدّدة. ولهذا السبب، فإن القيود المسموحة لموادٍ مسرطنة يمكن أن ترتفع إلى مستويات كمية عملية تعادل

عشرة أمثال قيم مستويات الكشف، وتصل إلى خمسة أضعاف قيم كشف المواد المسرطنة.

جدول 4-5: حدود نوعية صبيب في ما يتعلق بالمكوّنات الرئيسة لمياه الصرف التي تطرح في المحيط، لحماية الحياة المائية البحرية

العامل	شهرياً (معدل 30 يوم)	أسبوعياً	حد أقصى
شحوم و زيوت ،	25	40	75
SS، mg/l	60 مع إزالة دنيا قدرها 75%		
مواد قابلة للترسب،	1.0	1.5	3.0
عكورة، NTU	75	100	225
pH	ضمن حدود 6.0 – 9.0 في كل		
سمية حادّة	1.5	2.0	2.5

$$TUa^{a} = \frac{100}{96h - LC50}$$

حيث TUa^{a}= وحدات السُميّة الحادة

LC = تركيز قاتل 50%

المصدر: *Water Quality Control Plan, Ocean Waters of California*. State Water Resources Control Board, Sacramento, California, 1990.

المراجع

1. *ater Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water.* Chapter: Drinking Water Quality Standards, Regulations, and Goals/ American Water Works Association. 5th ed. New York : McGraw-Hill, Inc., 1999.

2. *The Clean Water Act.* 25th Anniversary ed. Alexandria, VA: Water Environment Federation, 1997.

3. Environmental Protection Agency, National Pollutant Discharge Elimination System Permit Application Requirements for Publicly

Owned Treatment Works and Other Treatment Works Treating Domestic Sewage; Proposed Rules. *Federal Register*: Vol. 60, No. 234. Wednesday, December 6, 1995. pp. 62546-62659.

مسائل

1-5 ما هو تعريف النظام المائي المشترك؟ ما هو الاختلاف بين نظام مائي غير مؤقّت وغير مشترك وبين نظام مائي مؤقّت وغير مشترك؟ يعتمد قانون MCLs محدّد على نوع نظام الماء (فقرة 5-3). ما هي أنماط الملوّثات التي ينبغي لأنظمة الماء المؤقتة وغير المشتركة أن تلتزم بها؟

2-5 ما معنىMCLG؟ يتمّ عادةً وضع MCLG على بيانات السُميّة من دراسات تعرض الحيوانات؟ ما هما المشكلتان الأساسيّتان في تقييم المخاطر المستندة إلى تعرض الحيوانات؟

3-5 ما معنى MCL؟ كيف يمكن تقدير المستوى المكافئ لمياه الشرب (DWEL) لملوّثٍ غير مُسرطِن؟

4-5 لماذا يعتمد الحدّ من الجيارديا والكريبتوسبوريديوم على تقنية معالجة محدّدة أكثر من MCL؟

5-5 ما هي الحواجز الأربعة في نظام مياه الشرب لمنع المُمرضات والملوّثات الأخرى من الوصول إلى مستهلكي الماء؟

6-5 صف بإيجاز تقنية معالجة مياه الشرب لإزالة المُمرضات من مصدر مياه سطحية.

7-5 ماذا يحدد قانون القولونيات الكلية؟ إذا وجد أن عينة قولونية روتينية سُحبت من نظام توزيع الماء إيجابية، ما هو الاعتيان المتكرر المطلوب؟

8-5 لماذا يتوقع أن يكون مصدر MCL الموضوع للكادميوم بحيث يكون أقلّ بـــ 10% من المقدار الكلّي الممتص، هو من استهلاك الماء؟

9-5 كيف يتمّ إنجاز مراقبة الرصاص والنحاس في مياه الشرب؟ ما هي سويات الإجراء وما هي تقنيات المعالجة إذا تمّ تجاوز سويات الإجراء هذه؟

10-5 ما هو التركيز المثالي للفلور في مياه الشرب في موقعٍ ذي معدّل درجة حرارة قدره $60^{\circ}F$؟ ما هي الفائدة الصحية من شرب مياه تحتوي على تركيز مثالي من الفلور؟

11-5 ما هي المخاطر الصحية للنترات في مياه الشرب؟

12-5 ما هي المواد الطيّارة الأكثر تكراراً المكتشفة في المياه الجوفية الملوّثة؟ وما هي المواد الكيميائية العضوية الصنعية (SOCs) في المبيدات، المكتشفة في المياه الجوفية؟

13-5 اكتب الصيغ الكيميائية لمركبات 5 ميثان ثلاثي الهالوجين التي وجدت في مياه الشرب. ما هو مصدر THMS؟

14-5 لماذا يتمّ تضمين الحديد والمنغنيز في المعايير الثانوية للجماليات؟

15-5 عندما تُفوّض EPA بتوجيه وتحديد برامج مراقبة التلوّث المياه الطبيعية والحد منه، فما هي أهداف وثيقة المياه النظيفة CWA؟

16-5 إلام تشير التسمية المختصرة NPDES؟ ضع قائمة بالمناحي المتعددة لبرنامج الترخيص هذا من بدايته.

17-5 باستعراض الشكل 5-1 ضع قائمة بالمعايير القانونية لضبط نوعية الماء من مياه صرف صناعي تُطرح في مجاري المدينة ومن ثم إلى مياه الشرب في نظام التوزيع لمجموعةٍ موجودة باتجاه مجرى النهر.

18-5 كيف تتم مراقبة برنامج NPDES؟

5-19 ما هي المعايير التي تستند إلى التقنية للمعالجة الثانوية (الحيويّة) في كافة محطات معالجة مياه الصرف المدنيّة؟

5-20 متى تكون المعايير التي تستند إلى التقنية ضرورية في طرح مياه الصرف؟

5-21 عرِّف مصطلح الأترفة (اخضرار الماء الآسنة). ما هو الملوّث الذي يكون عادةً محدوداً في صبيب مياه الصرف ويمكنه ضبط معدّل الأترفة؟

5-22 كيف يتوقع لبرنامج TMDL أن يحسّن نوعية مياه سطحية متدهورة؟ ما هي الأسباب الرئيسة لتدهور المياه السطحية؟ ما هو التحدي الرئيسيّ الذي يبدو محتملاً لوضع برنامج TMDL لإدارة حدّ فصل مائي؟

5-23 ما هي الأهداف الرئيسة لبرنامج معالجة مسبقة لمياه الصرف الصناعيّ؟

5-24 كيف ينجز اختبار سميّة الصبيب الكلية (WET)؟

5-25 ما هو الإجراء المعتاد الذي يلي اختباراً سلبيّاً للسمية الحيويّة في الصبيب، يشير إلى تدهور محتمل للمياه المستقبلة للصبيب؟

5-26 لماذا يعتبر المنع هو المقاربة الوحيدة الممكنة لإدارة نوعية المياه الجوفية؟

5-27 تبعاً لحدود المعالجة المحدّدة للطرح في المحيط، ما هي عمليات معالجة الحدّ الأدنى التي توصي بها للحصول على الإزالة المطلوبة للمواد الصلبة المعلّقة؟ ما هي الخطوات التي ينبغي اتخاذها إذا تمّ تجاوز حدود السُميّة؟

الفصل 6

أنظمـــة توزيـــع المـــاء

إن الهدف من نظام توزيع مياه المدينة هو التزويد بمياه آمنة قابلة للشرب للاستخدام المحلي، وبكمية كافية من المياه بضغط كاف لمكافحة الحرائق، وبمياه صناعية للتصنيع. تتضمّن منشأة مائية نموذجية مصدراً للمياه، ومعالجة، وضخاً، ونظام توزيع. إن مصادر تجهيز المدينة بالماء هي الآبار العميقة، والمياه السطحية، والأنهار، والبحيرات، والحوامل المائيّة. يأتي ثلثا مياه التجهيز العام من مصادر سطحية. تستخدم المدن الكبرى عموماً الأنهار الرئيسة والبحيرات لتلبية احتياجاتها الكبيرة من الماء، بينما تستخدم أغلبية المدن مياه الآبار إن توفرت. غالباً ما تكون نوعية المياه الجوفية مناسبةً بحيث لا تحتاج إلى المعالجة باستثناء الكلورة والفلورة. ويمكن بالتالي أن توزّع الآبار على عدّة نقاط في منطقة بلدية المدينة، ويمكن من ثم للمياه أن تُضخ مباشرة إلى نظام التوزيع. لكن إن تطلب الأمر معالجة، عندها تقوم مضخات بئرية أو مضخات رفع بسيط بنقل الماء من مناهل المياه السطحية إلى موقع محطة المعالجة. يقوم خزان ضخم من المياه المعالجة (تخزين خزان الماء المرشحة) بتأمين الاحتياطات لفترات ذروة الطلب، والمساواة بين معدّلات الضخ. تقوم مضخات رفع عال بنقل المياه المعالجة تحت ضغط عال عبر خطوط نقل رئيسة إلى أنابيب التوزيع والخزّانات.

يتألف نظام التوزيع من خطوط مياه رئيسة هيكلها من الحديد المشبّك، تقوم بنقل الماء لأغراضٍ محلية، وتجارية، وصناعية، ومكافحة الحرائق. تحتفظ

الخزّانات المرتفعة، أو خزّانات مشادة على مستوى سطح الأرض مع مضخات معزّزة باحتياطيات مائية لفترات ذروة الاستهلاك واحتياج الحرائق. يصل خط أفقي قصير كل فوهة حريق بخط التوزيع الرئيس. تتوزّع صمامات إغلاق أوتوماتيكي على النقاط الاستراتيجية عبر كامل نظام الأنابيب لتأمين السيطرة على أيّ مقطع من نظام الأنابيب أو أيّ مخرج خدمة، بما فيها فوهات الحرائق. تُستخدم هذه الصمامات لعزل مقطع من نظام الأنابيب من أجل صيانة ضرورية، ولضمان أن لا تؤثّر انقطاعات الماء إلا في قطاع صغير فقط. تضم وصلة الخدمة لحيٍّ ما، قاطع تيار مثبت ضمن خط الماء الرئيس، خط خدمة إلى صمام إغلاق أوتوماتيكي عند حاجز حافة الطريق، والخط الداخل إلى مسكن المالك والمتضمّن عدّاد مياه ومنظم ضغط أو صمام تخفيف إن دعت الضرورة.

1-6 كمية الماء ومتطلبات الضغط

تعتمد كمية الماء المطلوبة من قبل بلدية مدينة ما على عدد السكان، والمناخ (مثلاً، ريّ بالترذيذ وريّ المناطق الطبيعية الريفية)، ومستخدمي الماء التجاريين والصناعيين، وفي المحافظة على المياه (مثل تركيبات أنابيب مياه ذات كفاءة عالية)، وفي إعادة استخدام المياه في ريّ المناطق الطبيعية والريفية، وفي الأزمات الاقتصاديّة. وفي نظام مائي نموذجي تمثّل المياه المباعة وفقاً لقياسات العدّادات ما نسبته 70% من الماء الذي تمّ التجهيز به. والنسبة المتبقية غير المدرجة بالحساب تتوزّع بين 10% نتيجة عدم دقّة العدادات، و15% نتيجة التسرب من الأنابيب تحت الأرض، ويرجع الباقي إلى عوامل متنوعة. وتتباين معايير الولاية للمياه غير المدرجة بالميزانية بين 10 و20%.

يبلغ معدّل استخدام الماء ضمن المدن الأمريكية 600 gpd (2270 l/d) لكل جهةٍ مخدّمةٍ مقاسة بالعداد، بما فيها زبائن المناطق السكنية والتجارية والصناعيّة. والنسبة إلى زبائن المناطق السكنية يبلغ استهلاك المناطق الشرقية والجنوبية gpd

210 (790 l/d)، وفي الولايات الوسطى 280 gpd (1060 l/d)، وفي الأقاليم الغربية 460 gpd (1740 l/d) لكل منزل مخدّم. ويتم ترذيذ جزء ضئيل فقط من الماء لريّ المروج العشبية في المناطق التي يتجاوز فيها الهطول المطري 40 in./yr (1000 mm/y)، أما في المناخ شبه الجاف فتتم العناية بالمروج العشبية والحدائق عبر الري.

يتراوح الاحتياج النموذجي ليوم اعتيادي من الماء لكل قاطن في المدينة، والمعتمد على الموقع، والمناخ، والمناطق المختلطة من السكني التجاري والصناعيّ ومناطق التماس في ما بينها، بين 100 gpcd و200 (380 l/person . d و760) لكل الاحتياجات المتضمنة. تبلغ احتياجات المناطق السكنية بمفردها 80 gpcd و150 (300 l/person . d و570). وفي بعض البلديات يمكن لمزج غير عادي بين وصلات احتياجات الزبائن والاحتياجات الصناعيّة أن يتسبّب بتغيرات معتبرة. وكما نوقش في الفقرة 8-5 يمكن لتجهيزات أنابيب مياه ذات كفاءة عالية أن تخفف استهلاك الماء بنسبة 40% إلى 50 أيّ إلى استهلاك 40 gpcd (150 l/person .d)

يتباين استخدام الماء في المناطق السكنية فصلياً، ويومياً ومن ساعة إلى ساعة. يبلغ الاستهلاك اليومي الشتوي 80% تقريباً من المعدّل اليوميّ السنوي. بينما يكون الاستهلاك الصيفي أكثر بـــ 30%. التبيانات عن هذه القيم التي تقتبس عادةً من الدليل قد تكون أكبر بشكل معتبر لتجمّعٍ محدّد تبعاً لتغيرات المناخ الفصلية. يمكن أن يعتبر الاحتياج اليومي الأقصى (Maximum Daily Demand) بحدود 180% من المعدّل اليوميّ بقيم تتراوح بين 150% و300. لقد لوحظت أرقام ساعيّة قصوى تراوحت بين 2.5 مثل و5 أمثال لمعدّل الانسياب في أثناء الحالات المتطرفة، حيث بلغ متوسط المعدل الساعي الأقصى 300%.

إن الاحتياج للمياه العامة سمة تتفرد بها كل بلدية. وينبغي أن يكون التوقع بالاحتياج المستقبلي أو وضع برنامج محافظة على الماء مستندين إلى تسجيلات محلية متراكمة بما فيها معدّل الاستخدام اليومي، وأدنى وأقصى احتياجات موسمية،

وأقصى سحب ساعيّ، وأدنى وأقصى احتياجات موسمية داخل البيوت وخارجها، إضافة إلى الاحتياجات المنفصلة لكل من المناطق السكنية والتجارية والصناعيّة.

يعتمد انسياب الماء المُستخدم في تصميم المنشآت المائية على مقدار استهلاك المدينة للمياه وتغيراته وعلى كمية الاحتياطي المطلوب لمكافحة الحرائق. إن كمية الماء المطلوبة في مكافحة الحرائق، كما هي موضحة في الجدول 6-2، ذات مقدار معتبر وتتحكم غالباً بتصميم شبكة توزيع الماء، وضخّها وبتجهيزات تخزينها. إن مناهل الماء، والآبار، ومحطات المعالجة، والضخ، وخطوط النقل، قد صُمّمت بأحجامٍ تلبي احتياجات الذروة والتي تتمثّل عادةً بالاحتياج اليومي الأقصى، حيث يمكن التعامل مع التغيّرات الساعية في المخزون. وقد تركب وحدات بديلة في نظام المصدر – المعالجة – الضخ (Source, Treatment, Pumping)، وذلك للاستخدامات الطارئة، ولتسهيل الصيانة، أو لوضعها في الخدمة مع تزايد الطلب المستقبلي. يحدد عادةً انسياب التصميم المطلوب للاستهلاك اليومي الأقصى مضافاً إليه انسياب مياه الحرائق، وأقطار الأنابيب الرئيسة، ما يتطلب سعة ضخ إضافية والاحتياج لاحتياطي تخزين، إضافة إلى مقدارٍ آخر مطلوب للمساواة بين معدّلات الضخ ومعادلاتها. فإن تجاوز الاستهلاك الساعي الأقصى الحدّ اليومي الأقصى مضافاً إليه احتياج انسياب مياه الحرائق، فقد يكون السبب في ذلك هو القرائن المُستخدمة في تحديد أحجام بعض الوحدات.

تبلغ قيمة الضغط التي يوصى بها في نظام التوزيع 65 Psi إلى 75 (450 kPa إلى 520)، والتي تُعتبر مناسبة لتعدّل قيم تأرجحات الاستهلاك. يمكن لمستوى الضغط هذا أن يلبّي الاستهلاك اليومي لأبنيةٍ مكوّنة من عشرة طوابق، وكذلك تجهيزاً كافياً بالماء لأنظمة الترذيذ الأوتوماتيكي للوقاية من الحرائق لأبنيةٍ مكوّنة من 4 إلى 5 طوابق. وفي وصلات خدمة المناطق السكنية يجب أن يكون الضغط الأدنى في أنبوب توزيع الماء الرئيس 40 Psi (280 kPa). والضغط الزائد عن 100 Psi (690 kPa) ليس بمرغوب. والضغط الأقصى المسموح به هو 150 Psi (1030 kPa). فإن زاد عن ذاك، يبدأ الرشح من تجهيزات الأنابيب المحلية، ما يتطلبْ

إنقاص الضغط في توصيلات الخدمة، وتطبيق ضغط زائد على الأنابيب الرئيسة الموجودة في الأرض. تصمّم الأنابيب والوصلات المُستخدمة أنظمة توزيع المياه الاعتيادية لتتحمل ضغط عمل أعظمي قدره 150 psi. غير أن الضغوط العالية في أنابيب المياه الرئيسة تتسبب في تصدعات الأنابيب وفقدان أكبر نتيجة التسرب.

2-6 متطلبات الوقاية من الحرائق في المدن(*)

يقوم مكتب خدمات التأمين (Insurance Service Office, ISO)، وهو رابطة لشركات تأمين لاربحية، بجمع معلومات مسوحات يجريها لوضع معدّلات سياسات الوقاية الممتلكات التجارية والسكنية من الحرائق. يتضمّن تصنيف الدفّاع ضد الحرائق تقويماً للتجهيز بالماء، ولدائرة الإطفاء، ولتلقي إنذارات الحرائق والتعامل معها. وفي المسوحات المنفّذة في بلدية ما، ينبغي الأخذ بالاعتبار مدى وثوقيّة وملائمة المكوّنات الرئيسة للتجهيز بالماء التالية: مصدر التجهيز بالماء، واستيعاب محطة المعالجة، وقدرة الضخ، والخطوط الرئيسة للإمداد بالماء، وخطوط التوزيع الرئيسة، وتباعد الصمامات، ومواقع فوهات الحرائق. وكل ما ذكر يمثّل تجهيزات أساسيّة لمكافحة الحرائق في بلدية ما. إضافة إلى ذلك توصي ISO بتوفير أنظمة للسيطرة على حريق داخلي في أبنية تتطلّب ذلك، كتركيب نظام طفايات حرائق أوتوماتيكي.

يحدد دليل تقدير انسياب مياه الحرائق الضروري (Guide for Determination of Needed Fire Flow, GDNFF) الذي وضعته الـ ISO إجراءات تقدير انسياب مياه الحرائق من نظام التجهيز بالماء العامة وذلك في حال اندلاع حريق وعجز كل أنظمة الحرائق في المبنى عن إخماده، أو لعدم توفّر مثل هذه الأنظمة أصلاً. إن

(*) تتضمن مواد ذات حقوق نشر محفوظة تعود لمكتب خدمات التأمين المتحدة، وبموافقتها (Copyright, Insurance Services Office Inc., 2004).

الهدف من هذه التقديرات تأمين كميات مياه كافية لإطفاء الحرائق يدوياً لتقليل الخسائر إلى الحدّ الأدنى وتفادي الخسائر الكلية الشاملة.

انسياب مياه الحرائق الضروري

انسياب مياه الحرائق الضروري (Needed Fire Flow, NFF) هو معدّل انسياب الماء اللازم لمكافحة الحرائق وحصر حريق رئيس في كتلة من كتل الأبنية أو في مجموعة من مجموعات مجمَّع وخفض الخسائر إلى الحدّ الأدنى. يستند تعريف الـــ ISO للـــ NFF إلى الأبنية التي لا يتوافر فيها طفايات حريق أو على تعطّل طفايات الحرائق الأوتوماتيكيّة. يأخذ تقدير معدّل انسياب الماء هذا بالحسبان التصميم، والإشغال، وواجهة البناء واتصال كل بناء بالآخر في مجمع الأبنية، يرتكز عامل الإنشاء C_i على نوع الإنشاء والبناء وتحسب مساحتها بالمعادلة 6-1.

$$C_i = 18\,F\ \ (A_i)^{0.5}$$ (وحدات مترية) **(1-6)**

حيث C_i = عامل الإنشاء، gpm

F = معامل مرتبط بتصنيف البناء

F = 1.5 للفئة 1، إطار خشبي

F = 1.0 للفئة 2، اعتيادي

F = 0.8 للفئة 3، غير قابل للاحتراق

F = 0.8 للفئة 4، حجري، غير قابل للاحتراق

F = 0.6 للفئة 5، مقاوم للحريق معدّل

F = 0.6 للفئة 6، مقاوم للحريق

A_i = المساحة الفاعلة بالـــ ft^2. إن المساحة الفاعلة هي مساحة أكبر طابق في البناء مضافاً إليها النسب المئوية الآتية من الطوابق الأخرى: (1) لأبنية فئات الإنشاء 1 إلى 4، 50% من مساحات باقي كل الطوابق، (2) لأبنيةٍ فئات الإنشاء 5 أو 6، إذا كانت كل الفتحات الشاقوليّة في البناء ذات حماية 1.5 ساعة أو أكثرٌ،

25% من مساحة لا تتجاوز مساحة أكبر طابقين. الأبواب ينبغي أن تُغلق أوتوماتيكياً ويُرمز لها فئة B أبواب حريق (حماية 1 ساعة أو أكثر). أما في الأبنية الأخرى فـ 50% من المساحة، بحيث لا تتجاوز مساحة باقي الأبنية.

$C_i = 3.7\ F\ (A_i)^{0.5}$ (وحدات مترية) **(2-6)**

حيث C_i = عامل الإنشاء، l/s

A_i = المساحة الفاعلة بالمتر المربع.

بغض النظر عن القيم المحسوبة، فإنه ينبغي ألا تتجاوز C_i القيم الآتية: gpm 8000 (500 l/s) لفئات الإنشاء 1 و2، gpm 6000 (380 l/s) لفئات الإنشاء 3، 4، 5 و6، gpm 6000 (380 l/s) لبناء من طابق واحد لأيّ فئة من فئات الإنشاء. إن القيمة الدنيا لـ C_i هي gpm 500 (32 l/s) تُدوَّر ISO قيم C_i المحسوبة الأقرب إلى gpm 250 (16 l/s).

جدول 6-1: عوامل الإشغال O_i لفئات "القابلية للاحتراق"

فئة القابلية للاحتراق	O_i
C-1 غير قابل للاحتراق	0.75
C-2 قابل للاحتراق بشكلٍ محدود	0.85
C-3 قابل للاحتراق	1.0
C-4 يحترق بحرية	1.15
C-5 يحترق بسرعة	1.25

المصدر: *Guide for Determination of Needed Fire Flow*[1]. Copyright, Insurance Services Office, Inc., 2004.

إن عوامل الإشغال O_i لفئات القابلية للاحتراق مدرجة في الجدول 6-1. وهي تمثّل تأثير الإشغال على قيم الـ NFF. وفي ما يأتي أمثلة لكل فئة من الفئات من 1 إلى 5:

الفئة 1: البضائع أو المواد التي لا تمثّل وقوداً نشيطاً، مثلاً الغضار، والزجاج، والرخام، والحجر، أو البضائع المعدنية.

الفئة 2: البضائع أو المواد ذات قابلية محدودة للاحتراق، مثال ذلك البنوك، والكنائس، والمحلات، والمشافي، والموتيلات، والمكاتب. للإشغالات الصناعيّة التي يكون فيها ما نسبته 20% من مساحة الطابق الكلية قد خُزّن فيه فئة قابلة للاحتراق، ينبغي أن لا تقلّ الإشغالات عن C-3.

الفئة 3: البضائع أو المواد ذات قابلية متوسطة للاحتراق، مثال ذلك أسواق المواد الغذائية، معظم أسواق الجملة والمفرق والخدمات ومحلات الإصلاح والخدمات.

الفئة 4: البضائع أو المواد التي تحترق بحرية، مثال ذلك مخزون المفروشات، المنتجات الخشبية، مستودعات الشحن ومحطات آخر خطوط السكك الحديد، والمسارح.

الفئة 5: البضائع أو المواد التي تحترق بشدّة، أو تشتعل ذاتياً أو تعطي باحتراقها ألسنةً ملتهبةً أو أبخرة متفجرة، مثال ذلك المواد المتفجرة، المواد الكيميائية والدهانات المعروضة للبيع والمخزونة، ومنتجات البلاستيك ومحلات التنجيد.

أما في الأبنية متنوعة درجة الإشغالات ومتعدد فئات التصنيف، فيُمكن تقدير فئة الإشغال القابلة للتطبيق على المبنى وفق مساحة الطابق الكلية المشغولة بواحد مما يأتي:

الفئة 1: فئة غير قابلة للاحتراق سوف تطبق فقط حيث تكون ما نسبته 95% أو أكثر من المساحة الكلية للطابق مشغولة بشاغلي C-1، من دون وجود C-5 مطلقاً.

الفئة 2: فئة محدودة القابلية للاحتراق سوف تطبق فقط على الأبنية المصنفة على أنها من منشآت فئة 5 أو 6 (المعاملات F مدرجة في المعادلة 6-1) وحيث إن 80% أو أكثر من مساحة الطابق الكلِّية مشغول بـــ C-1

الفئة 3: فئة قابلة للاحتراق سوف تطبق على أيّ بناءٍ لا تتوفّر فيه الشروط السابقة.

الفئة 4: فئة حرة الاحتراق تطبق على أيّ بناء يحوي شاغلي C-4، حيث لا تمثّل المنطقة المشتركة التي يكون بها شاغلو C-4 وC-5 إلا 25% فقط من مساحة البناء، شريطة أن لا يكون نسبة شاغلي C-5، إن وجدوا، أكثر من 15%.

الفئة 5: فئة سريعة الاحتراق سوف تطبق على أيّ بناء يحوي أكثر من 15% منه مشغول بشاغلي C-5.

تمثّل عوامل الواجهة X_i والاتصال P_i مقدار تأثير أبنية الاتصال المكشوفة في قيم الـــ NFF. لقد طوّرت قيمة لـــ $(X+P)_i$ لكل طرف طرفي البناء كالآتي:

$$(X+P)_i = 1.0 + (X_i + P_i) \quad \textbf{(3-6)}$$

بقيمة قصوى قدرها 1.60 وحيث

X_i = عامل الواجهة، جدول 6-2

P_i = عامل الاتصال، جدول 6-3

n = عدد جوانب البناء

يعتمد العامل X_i على فئة البناء، قيمة الطول – الارتفاع (طول الجدار بالأقدام مضروباً بالارتفاع ضمن الطوابق) للبناء المكشوف، والمسافة بين الجدران المتقابلة والتي هي قيد التقويم، والبناء المكشوف. يظهر الجدول 6-2 عوامل الواجهة.

تأخذ قيمة عامل الواجهة (X_i) لبناء مجاور بالاعتبار جانب البناء الذي له أعلى قيمة عدديّة للعامل فقط. تلغي الشروط التالية عامل واجهة من بناء مجاور، إذا كان هذا البناء المجاور مصنفاً كبناء مشغول من الفئة 5 أو 6 ومجهز بنظام إطفاء حريق بالترذيذ، أو كبناءٍ من الفئة 3 أو 4 تصنّف قابلية محتوياته للاحتراق بأنها C-1 أو C-2.

تأخذ قيمة عامل الاتصال لبناءٍ مجاور بالاعتبار فقط الاتصال ببناء ذي قيمة أعلى. تلغي الشروط التالية أيّ عامل اتصال إذا كان البناء المجاور مصنفاً كبناءٍ مشغول ومجهز بنظام إطفاء حريق بالترذيذ من الفئة 3 أو 4، أو كبناءٍ من الفئة 3 أو 4 تصنّف قابلية محتوياته للاحتراق بأنها C-1 أو C-2. يعتمد العامل P_i على الوقاية التي تؤمنها فتحات منافذ النجاة، وطول الاتصال، وقابلية البناء للاحتراق. يظهر الجدول 6–3 عوامل الاتصال، وإن وُجِد نوع أو أكثر من أنواع الاتصال في أيّ جدار جانبي، تُستخدم فقط قيمة P_i الأعلى من أجل ذلك الجانب. فإن لم يوجد اتصال فإن P_i سيساوي صفراً. وسيحسب NFF كالآتي:

$$NFF = C_i \times O_i \times (X + P)_i \qquad \textbf{(4-6)}$$

حيث NFF = انسياب مياه الحرائق الضرورية، gpm، (l/s)

C_i = عامل الإنشاء، gpm، (l/s)

O_i = عامل الإشغال، جدول 6-1

$(X + P)_i$ = عاملا الواجهة والاتصال

يضاف انسياب مياه قدره 500 gpm إضافية (32 l/s) إلى NFF عندما يسهم سقف من الألواح الخشبية على بناء أو أبنية مكشوفة بانتشار النار. لا ينبغي للـ NFF أن يتجاوز 12000 gpm (760 l/s) ولا أن يقلّ عن 500 gpm (32 l/s). إن NFF المحسوب قد دُوّر إلى أقرب من 250 gpm، إن كان أقل من 2500 gpm، وإلى أقرب 500 إن كان أكبر من 2500 gpm.

جدول 6-2: عوامل الواجهة X_i

			عامل الواجهة X_i			
			إنشاء جدار مقابل لبناء مكشوف			
			فئات البناء			
			1 و 3	2 و 4 و 5 و 6		
إنشاء جدار مقابل لبناء قيد التقويم	المسافة إلى البناء المكشوف (ft)	طول ارتفاع(*) الجدار المقابل للبناء المكشوف (ft. عدد الطوابق)		فتحات غير محمية	فتحات شبه محمية (زجاج مدعم بأسلاك أو رذّاذات خارجية	جدار خالي
إطار، معدني أو حجري ذو فتحات	10-0	100-1	0.22	0.21	0.16	0
		200-101	0.23	0.22	0.17	0
		300-201	0.24	0.23	0.18	0
		400-301	0.25	0.24	0.19	0

0	0.20	0.25	0.25	أكبر من 400		
0	0.11	0.15	0.17	100-1	30-11	
0	0.12	0.16	0.18	200-101		
0	0.14	0.18	0.19	300-201		
0	0.15	0.19	0.20	400-301		
0	0.15	0.19	0.20	أكبر من 400		
0	0.07	0.10	0.12	100-1	60-31	
0	0.08	0.11	0.13	200-101		
0	0.10	0.13	0.14	300-201		
0	0.11	0.14	0.15	400-301		
0	0.12	0.15	0.15	أكبر من 400		
0	0.04	0.06	0.08	100-1	100-61	
0	0.05	0.07	0.08	200-101		
0	0.06	0.08	0.09	300-201		
0	0.07	0.09	0.10	400-301		
0	0.08	0.10	0.10	أكبر من 400		
إذا كان الجدار المقابل للبناء المكشوف أعلى من البناء قيد التقويم، استخدم المعلومات الواردة أعلاه، (باستثناء) استخدم فقط طول-ارتفاع الجدار المقابل للبناء المكشوف أعلاه فوق ارتفاع الجدار المقابل للبناء قيد التقويم. الأبنية المكوّنة من خمسة طوابق فأكثر، تُعتبر كخمسة طوابق. إذا كان ارتفاع الجدار المقابل للبناء المكشوف هو ارتفاع الجدار المقابل نفسه لبناء قيد التقييم أو أقل، فإن $X_i = 0$					جدارٌ حجري خالٍ	

(*) معامل طول الارتفاع هو ارتفاع جدار البناية المكشوفة مقاساً بعدد الاقدام مضروباً بعدد الطوابق في البناية.

المصدر: *Guide for Determination of Needed Fire Flow*[1]. Copyright, Insurance Services Office, Inc., 2004.

جدول 6-3: عوامل الاتصال P_i

وقاية منافذ ممر النجاة	مقاوم للحريق، غير قابل للاحتراق، اتصال بطيء الاحتراق				اتصال مع بناء قابلة للاحتراق					
	مفتوح	مغلق			مفتوح			مغلق		
	أي طول	10-20 قدم او اقل	11-20 قدم	21 إلى 50 قدم (*)	10 أقدام أو أقل	11 إلى 20 قدم	21 إلى 50 قدم(*)	10 أقدام أو أقل	11 إلى 20 قدم	21 إلى 50 قدم(*)
غير محمية	0	0.30	0.30	0.20	0.30	0.20	0.10	0.30	0.20	0.30
فئة A منفردة باب حريق عند واحدة لممر النجاة	0	0.20	0.10	0	0.20	0.15	0	0.30	0.20	0.10
فئة B منفردة باب حريق عند واحدة لممر النجاة	0	0.30	0.20	0.10	0.25	0.20	0.10	0.35	0.25	0.15
فئة A منفردة باب حريق عند نهايتي ممر النجاة أو فئة A مزدوجة وباب حريق عند نهاية واحدة لممر النجاة	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فئة B منفردة باب حريق عند نهايتي ممر النجاة أو فئةB مزدوجة و باب حريق عند نهاية واحدة لممر النجاة	0	0.10	0.05	0	0	0	0	0.15	0.10	0

(*) اطوال الوصل التي تزيد عن 50 ft، $P_i = 0$.

المصدر: انمصدر نفسه. حقوق الطبع لمكتب خدمات التأمين، Inc، 2004.

جدول 6-4: NEF = انسيابات مياه حريق ضرورية لمناطق سكنية لا يتجاوز ارتفاع أبنيتها طابقين، يقطنهما عائلة أو عائلتان

المسافة بين الوحدات السكنية (ft)[a]	انسياب مياه حريق ضروري (gpm)[b]
أكثر من 100	500
31 إلى 100	750
11 إلى 30	1000
أقل من 10	1500

a: 0.305 m = 1.0 ft

b: 0.063 l/s = 1.0 gpm

المصدر: المصدر نفسه.

إن قيم NFF للمساكن التي تضم عائلة أو عائلتين ولا تتجاوز الطابقين بارتفاعها مدرجة في الجدول 6-4. قد تصل القيمة القصوى لـ NFF إلى 3500 (gpm)[b] = 0.063 l/s لمساكنٍ أخرى غير مدرجة في الجدول 6-4. بالنسبة إلى المساكن المزودة بنظام ترذيذٍ أوتوماتيكي، فإن NFF هو الجريان الضروري لنظام الترذيذ مُحوّلاً إلى 20 Psi ضغط متبقي بحدٍ أدنى قدره 500 gpm (32 l/s).

تقويم أنظمة الترذيذ الأوتوماتيكي

في ما يلي شروط الحدّ الأدنى لتصنيف مبنى بأنه مُرذّذ. ينبغي أن يكون للمبنى صيانة مؤكّدة من شخصٍ مسؤول يقوم بزيارة المنشآت مرةً كل أسبوع على الأقلّ. ينبغي ألاّ تتجاوز المنطقة المُستخدمة المرذذة (أ) 25% من المساحة الكلية للبناء مع إشغال من فئة قابلية الاحتراق C-1، (ب) 20% من المساحة الكلية للبناء مع إشغال من فئة قابلية الاحتراق C-2 أو C-3، (ج) 100000 ft^2 أو 15% من المساحة الكلية للبناء مع إشغال من فئة قابلية الاحتراق C-4، و(د) 5000 ft^2 أو 10% من المساحة الكلية للبناء مع إشغال من فئة قابلية الاحتراق C-5. (يوضح الجدول 6-1 عوامل الإشغال O_i لفئات القابلية للاحتراق).

يجب لتركيب نظام الترذيذ أن يكون مزوداً بأدلة على أن اختبارات الشطف واختبارات الضغط السكوني واختبار الجريان التام في الأنبوب الرئيس للصرف، قد أُنجزت خلال الـ 48 شهر الأخيرة. يتطلب تركيب مضخة حريق دليلاً على أن اختبار مضخة الحرائق قد أُنجز خلال الـ 48 شهر الأخيرة مع تقديم نتائجه.

الحدود العملية لانسياب مياه الحرائق

إن سحب كميات كبيرة من الماء من نظامٍ مائيٍّ ليس بالطريقة المفضلة لإخماد حريق. بالنسبة إلى كثير من الأبنية تعتبر أنظمة الترذيذ الأوتوماتيكي أكثر فاعلية في حماية الحياة والممتلكات مقارنة بالاعتماد فقط على أنظمة توزيع الماء لتأمين الوقاية من الحرائق. إن الحدّ الأدنى لانسياب مياه الحرائق للأبنية التي لا يوجد فيها نظام ترذيذ هو 500 gpm (32 l/s) تحت ضغط متبق قدره 20 psi أيّ 140 kPa. ويمثل هذا الانسياب الناتج من تدفّق خرطومي مياه معياريين، والكمية الدنيا من الماء اللازمة لإخماد الحرائق بسلامة وبفاعلية. والزيادة على الحدّ الأدنى هذا، فإن NFF المحسوب استناداً إلى معادلات الـ ISO، يعتبر تقديراً واقعياً للانسياب المطلوب لإخماد الحرائق. إن الانسياب الأقصى الذي يرّجح أن تكون معظم البلديات قادرة على تأمينه بوثوقيّة لمكافحة الحرائق هو 3500، (220 l/s). إن الـ NFF وفقاً لـ (Guide for Determination of Needed Fire Flow[1]) هي المساحات التي تضم أبنية غير مزوّدة برذّاذات أوتوماتيكيّة. وحيث إن قيمة وفاعلية الرذّاذات قد غدت مؤكّدة، فإن المجلس البلدي قد يزيد مقدار الرصيد المائي المسجل لمساحة تكون فيها كل الأبنية مزوّدة بأنظمة رذّاذات، إلى حدٍ أقصاه 100%. فإن توفّر رصيد 100%، فما من حاجة إلى انسياب مياه حريق باستثناء انسياب الماء اللازم للرذّاذات مضافاً إليه المقدار المخصص لتدفّق الخرطوم البالغ 500 gpm (32 l/s). تقع متطلبات الانسياب لأنظمة الرذّاذات عموماً في مجال 150 gpm إلى 1600 gpm (10 l/s إلى 100 l/s) تبعاً لفئة قابلية الاحتراق، ولنوع نظام الترذيذ،

ولاعتباراتٍ أخرى. وفي تقدير التصنيف الوقاية العام بغرض وضع معدّلات تأمين على الحرائق في البلدية، فإن إجراءات ISO لا تأخذ بالاعتبار أيّ بناءٍ رئيس يتطلب انسياب مياه حريق أكثر من 3500 gpm (220 l/s). وقد يكون لدى المجلس البلدي مرسومٌ يتطلب وجود ممتلكات معزولة ذات قيم NFF أعلى من مثيلتها لباقي الممتلكات في المنطقة، وعليه توفير وقاية خاصّةٍ لها. وقد يتمّ تحقيق ذلك عبر تخفيض انسياب مياه الحرائق المطلوب وذلك عبر تركيب رذّاذات أوتوماتيكيّة، أو بتخزين الماء ووضع المضخات في الموقع نفسه.

المدة

إن المدة المطلوبة لانسياب الماء ساعتان بحدٍ أقصى يبلغ 2500 gpm و3 ساعات بانسياب مياه حريق قدره 3000 gpm و3500 gpm. تتضمّن المكوّنات الأساسيّة لنظام مائيٍّ يُعتمد عليه، وثوقيّة انسياب مياه الحرائق متضمّنة القدرة على ضخه، وخطوط تجهيز رئيسة، ومحطة معالجة، ومصدر للطاقة، قادرةً بمجموعها من تأمين المعدّل اليوميّ الأقصى للمياه لعدّة أيام إضافةً إلى انسياب مياه الحرائق للمدة المحدّدة وذلك في أيّ وقت خلال هذا المدة الزمنيّة، التي قد تكون 5، 3 أو 2 يوم تبعاً لمكوّنات النظام قيد الاعتبار، وكذلك تبعاً للزمن المتوقع بقاء النظام خارج الخدمة واللازم لأعمال الصيانة والإصلاح.

الضغط

يجب أن يكون الضغط في نظام التوزيع عالٍ إلى حدٍ كافٍ يسمح لضخاخات إدارة الإطفاء الحصول على انسياب كاف من فوهات الحرائق. يتطلب سحب انسياب مياه الحرائق من فوهات الحرائق وجود ضغط مياه موجب لتجاوز فقودات الاحتكاك في فوهة الحرائق وفي خرطوم السحب. تحدّد الـ ISO الضغط المتبقي الأدنى بـ 20 Psi (140 kPa) خلال انسياب مياه الحرائق لتحليل كفاءة النظام المائي.

قدرة التجهيز بالمياه

لدى تقييم نظام مائي، ينبغي اعتماد القدرات الفاعلة للمضخات عند الطّرح لدى ضغوط تشغيل عادية. يجب أن تكون قدرات الضخ، بالارتباط مع المخزون، كافيةً للمحافظة على معدّل الاستخدام اليومي الأقصى مضافاً إليه انسياب مياه الحرائق الأقصى المطلوب مع وجود أهم مضخة خارج الخدمة. يجب أن يكون انسياب مياه الحرائق ثابتاً عند الضغط المطلوب البالغ 20 Psi (140 kPa) في أثناء المدّة المطلوبة.

كثيراً ما يُستخدم المخزون للتعادل مع معدّلات الضخ في نظام التوزيع وكذلك لتأمين الماء لمكافحة الحرائق. ونظراً إلى تأرجح حجم الماء المخزون، فإن كمية الماء الدنيا اليوميّة الاعتيادية المحافظ عليها، تعتبر متاحة لمكافحة الحرائق. وبتقدير انسياب الحرائق من المخزون، فإنه من الضروري حساب معدّل دَفْع الماء خلال فترة محدّدة. وحتى لو كانت كمية الماء المتاحة في المخزون كبيرة، فإنه لا يمكن للانسياب إلى فوهة الحرائق تجاوز حمولة نقل الأنابيب الرئيسة، ولا يمكن للضغط المتبقي عند نقطة استخدام الماء أن يقلّ عن 20 Psi (140 kPa).

وبالرغم من أن نظام الثقالة الذي تدفع فيه المياه دون استخدام مضخات، مستحبّ من وجهة نظر الوقاية من الحرائق لوثوقيته، إلا أن أنظمة الضخ المُصمّمة بشكل جيد والمحافظ عليها كما ينبغي يمكن أن تُطوّر إلى درجة عالية جداً بحيث لا يمكن التمييز بين وثوقيّة الأنظمة المغذاة بالثقالة وتلك المُغذّاة بالضخّ. وفي الأنظمة التي تعمل بالكهرباء، يجب ترتيب النظام بحيث لا يتسبّب أيّ انقطاع في أحد الخطوط أو إصلاح محوّل أو أيّ أداة أخرى، إعاقة نقل انسياب مياه الحرائق المطلوبة. ويجب تأمين الكهرباء إلى كل محطات الضخ ومنشآت المعالجة بخطين منفصلين ومن اتجاهين مختلفين.

إن وثوقيّة عمليات الأنظمة المائيّة، أساسيّة للإيفاء باحتياج الحرائق. لقد صُمّمت محطات الضخ، ومحطات المعالجة، ومراكز مراقبة العمليات لتقي من الحرائق، والفيضانات، ومن أيّ كوارثٍ وحوادث. تُركّب إنذارات صوتية وأنظمة إبلاغ أخرى بواسطة الراديو أو الهواتف الأوتوماتيكيّة الاتصال لتنذرَ طاقم العاملين في مجال المياه. ولاتخاذ إجراءات علاجية، يتوجّب توفير معدات ووسائط نقل ملائمة لطواقم الطوارئ تحت الطلب لمساعدة إدارة الإطفاء لتأمين خدماتٍ مائية في حال حدوث أيّ توقّف أو خلل في الأداء، كانكسار خط مياه رئيس مثلاً.

نظام التوزيع

إن وجود مخطط لخطوط التجهيز الرئيسة، وشرايين التجهيز، وخطوط التغذية والتوزيع الثانويّة، أمر أساسيٌّ لدفع انسيابات مائية ضرورية في كل الأنحاء العمرانية في البلدية بالحدّ الأعظمي للاستخدام اليومي[2]. يجب الانتباه إلى التأثير الكبير الذي يمكن أن يتسبّب به كسر في الأنبوب أو تباعد الوصلات أو أيّ أعطال أخرى، في نظام التجهيز بالماء. وفي حال حدوث أكثر الأعطال خطورة، لا يعتبر أن عجزاً سيحدث إن كان بمقدور الأنابيب الرئيسة الباقية، القادمة من مصدر التجهيز بالماء وتخزينها، أن تؤمّن تجهيز مياه الحرائق للمدة المحدّدة في أثناء فترة الثلاثة أيام، إضافة إلى تأمين احتياج استخدام المعدّل اليوميّ الأقصى.

يجب أن تمتد أنابيب الماء الرئيسة وشرايين التجهيز وخطوط التغذية والتوزيع الثانوية عبر كامل النظام وبتباعٍ ملائم حوالى 3000 ft (910 m) وأن تكون مغلقةً بأنشوطة لتأمين الدعم المتبادل ولوثوقيّة الخدمة. إن نمط القضبان المشبّكة لخطوط توزيع رئيسة صغيرة والتي تؤمن الخدمة لأحياء سكنية ينبغي أن تكون مؤلفة من أنابيب رئيسة لا يقلّ قطرها عن 6 in. (150 mm). وعندما يكون من الضروري استخدام أطوال كبيرة تتجاوز 600 in. (180 m)، فإنه يجب استخدام أنابيب رئيسة متقاطعة قطرها 8 in. (200 mm). تُستخدم في الإنشاءات الحديثة أنابيب قطرها in.

8 أو أكثر، وذلك إما لأن النهايات السيئة للأنابيب ونوعية الحديد المشبّك يتواجدان سويّة لفترةٍ معتبرة من الوقت في أثناء التطوير أو بسبب توزّع الشوارع طبوغرافياً. لا ينبغي لفوهات الوقاية من الحرائق ان تركب على النهاية المسدودة للأنابيب الرئيسة ذات قطرٍ قدره .in 6 أو أقلّ. يكون القطر الأدنى في الأحياء التجارية للخط الرئيسيّ .in 8 مع خط عرضي على امتداد شوارعها قطره .in 12 (300 mm) أو تُستخدم خطوط رئيسة أكبر في شوارعها الرئيسة وفي كل الخطوط الطويلة غير الموصولة بخطوط رئيسة أخرى، وبتباعدات قريبة من بعضها لتحقيق الدعم المتبادل في ما بينها.

يزوّد نظام التوزيع بعدد كاف من الصمامات موزعة، بحيث لا يؤثر كسر الأنبوب في أكثر من ربع ميل من الأنابيب الرئيسة الشريانيّة، أو 500 ft (150 m) من الأنابيب الرئيسة في الأحياء الراقية، أو 800 ft (240 m) من الأنابيب الرئيسة في سائر الأحياء.

تركب فوهات الحرائق بمواقع وبتباعدات مناسبة لإدارة الإطفاء. وتكون المسافة الخطية عادةً في ما بينها في المناطق السكنية 600 ft (180 m)، وبحدٍ أقصى يصل إلى 800 ft (240 m)، وفي الأحياء الراقية تكون عادةً 300 ft (91 m) وبحدٍ أقصى يصل إلى 500 ft (150 m). والمواقع الشائعة لفوهات الحرائق هي تقاطع الشوارع، وعند منتصف كتل سكنية طويلة، وبالقرب من نهايات الشوارع المسدودة. ولتقييم NEF في موقعٍ محدّد، يأخذ الــ ISO كل فوهة حريق ضمن ft 1000 (300 m) اعتباراً من الفوهة وبحيث يمكن مدّ الخرطوم بواسطة جهاز الإطفاء. يُخصّص لكل فوهة حريق واقعة ضمن 300 ft مُقاسة اعتباراً من الموقع مقداراً أقصاه 1000 gpm (63 l/s)، وللفوهات الواقعة ضمن 301 ft و600 ft مقداراً أقصاه 670 gpm (42 l/s)، وللفوهات الواقعة ضمن 601 ft و1000 ft مقداراً أقصاه 250 250 gpm (16 l/s).

يجب أن يكون للفوهات مخرجان على الأقل، أولهما مخرج ضخاخ، وثانيهما مخرج خرطوم بقطر صغير لا يقل عن 2.50 إنش. تسمح الـ ISO بمخصصٍ حدّه الأعلى 1000 gpm من فوهة حريق مجهز بمخرج واحد ذي ضخّاخ على الأقلّ، أو 750 gpm بمخرجين أو أكثر ينتهيان بخرطوم بدون وجود ضخاخ، و 500 gpm من مخرج واحد ينتهي بخرطوم.

مثال 6-1

مبنى معالجة مشتقات ألبان ذي تصميم عادي عرضه 100 ft وطوله 150 ft من طابق واحد ارتفاعه 12 ft. يوجد بناء حجري مجاور لبيع المواد الغذائية والمرطبات، أبعاده 100 ft x 100 ft بثلاثة طوابق. يتقابل جدارا البنائين (100 ft) بتباعد 35 ft. كلا الجدارين يحوي أبواباً من موادٍ قابلة للاحتراق (اتصال مفتوح). احسب NEF لكل بناء بما في ذلك واجهة البناء الآخر.

الحل

لمبنى معالجة مشتقات الألبان معامل F قدره 1.0 للبناء العادي. باستخدام المعادلة 6-1 لبناءٍ أبعاده 100 ft x 150 ft ومكوّن من طابق واحد، سيكون المعامل F كالآتي:

$$C_i = 18 \times 1.0(100 \text{ ft} \times 150 \text{ ft})^{0.5} = 2200 \text{ gpm}$$

إن معالجة مشتقات الألبان تصنيف تصنيع 3 لعامل إشغال O_i قدره 1.

إن الجدار المقابل العائد للبناء الحجري المواجه، بناء من الفئة 4 مع فتحات غير محمية، والمسافة إلى هذا الجدار المواجه تبلغ 35 ft. إن طول – ارتفاع الجدار المقابل العائد للبناء الحجري المواجه 100 ft عبر ثلاثة طوابق، مساحة كل منها 300 ft^2. ومن الجدول 6-2، نحصل على قيمة لعامل الواجهة X_i تساوي 0.13.

ومن الجدول 6-3، نحصل على قيمة لعامل الاتصال P_i لبناء مفتوح قابل للاحتراق على مسافة 35 ft تساوي 0.10. وباستخدام المعادلة 6-3 نحصل على:

$$(X + P)_i = 1.0 + (0.13 + 0.10) = 1.23$$

وباستخدام المعادلة 6-4 نجد أن مياه الحرائق المطلوب هو:

$$NEF = 2200\ gpm \times 1.00 \times 1.23 = 2700\ gpm$$

NEF = 2500 gpm (مقرباً إلى أقرب 500 gpm)

إن المدة اللازمة لانسياب مياه الحرائق هي 2 hr.

إن البناء الحجري المجاور لبيع المواد الغذائية والمرطبات ذو معامل F قدرها 0.8 لبناء حجري فئة 4 غير قابل للاحتراق. وباستخدام المعادلة 6-1 ومن أجل بناء من ثلاثة طوابق 100 ft x 100 ft من فئة البناء 4 فسيكون المعامل:

$$C_i = 18 \times 0.8\ (10000\ ft^2 + 2 \times 5000\ ft^2)^{0.5} = 2040\ gpm$$

إن بيع الغذاء والمرطبات تصنيف لاتصنيعي من الدرجة 3 بعامل إشغال O_i قدره 1.00.

إن الجدار المقابل العائد للبناء الاعتيادي التصميم المواجه، بناء من الفئة 2 مع فتحات غير محمية، والمسافة إلى هذا الجدار المواجه تبلغ 35 ft. إن طول – ارتفاع الجدار المقابل العائد للبناء المواجه 100 ft عبر طابق واحد مساحته 300 ft^2. ومن الجدول 6-2، نحصل على قيمة لعامل الواجهة X_i تساوي 0.10. ومن الجدول 6-3، نحصل على قيمة لعامل الاتصال P_i لبناء مفتوح قابل للاحتراق على مسافة 35 ft تساوي 0.10. وباستخدام المعادلة 6-3 نحصل على:

$$(X + P)_i = 1.0 + (0.10 + 0.10) = 1.20$$

وباستخدام المعادلة 6-4 نحصل على:

$$NEF = 2040 \times 1 \times 1.20 = 2450\ gpm$$

NEF = 2500 gpm (مقرباً إلى أقرب 250 gpm)

إن المدة اللازمة لانسياب مياه الحرائق هي 2 hr.

مثال 6-2

مبنى خشبي الإطار يوجد في الطابق الأول مطعم بأبعاد 30 ft × 75 (2250 ft^2). يوجد على أحد طرفي الطابق الثاني محلّ بيع عبر العرض في الخزائن، بأبعاد 30 ft × 30 ft ($900\ ft^2$). للبناء جانبان مع واجهات على الأبنية المجاورة. يوجد مقابل الجانب الطويل للمطعم بناء A ذو جدران حجرية ترتفع لطابقين بفتحات شبه محمية. يبلغ قياس طول – ارتفاع: 120 × 2 = 240 ft لطابقين. أما الواجهة الثانية فهي بناء B بعرض 28 ft وبمسافة 12 ft مقاسة من نهاية المطعم. أشيد البناء من جدران هيكلية بطابقين بقياس طول – ارتفاع: 28 × 2 = 56 ft لطابقين. احسب NEF للمبنى المطعم – محل بيع عبر العرض في الخزائن.

الحل

تساوي قيمة F لمبنى خشبي 1.5. وتساوي المساحة الفاعلة A_i للطابق الأرضي إضافة إلى 50% من الطابق الثاني: $2700\ ft^2$ = 450 + 2250

$$C_i = 18 \times 1.5(2700)^{250} = 1400 \text{ gpm}$$

يحتل محلّ بيع بالعرض في الخزائن أكثر من 25% من المساحة الكلية لأرضيّة المبنى.

النسبة المئوية = $[900/(2250 + 900)] \times 100 = 28.6$

من الجدول 6-1، نحصل على O_i = 1.15.

من الجدول 6-2 للمبنى A على مسافة 11 لأجل طول ارتفاع قدره 240 ft لعدّة طوابق نحصل على واجهة قدرها 0.14. ومن الجدول 6–2 أيضاً نجد أن واجهة لمبنى B على بعد 12 ft لأجل طول ارتفاع قدره 240 ft لعدّة طوابق نحصل على واجهة قدرها 0.17. وسيكون المبنى B هو صاحب أعلى قيمة للعامل.

X_i = 0.17

ونظراً إلى عدم وجود اتصال فسيكون $P_i = 0$ وباستخدام المعادلة 6-3،

$$(X + P)_i = 1.0 + (0.17 = 0) = 1.17$$

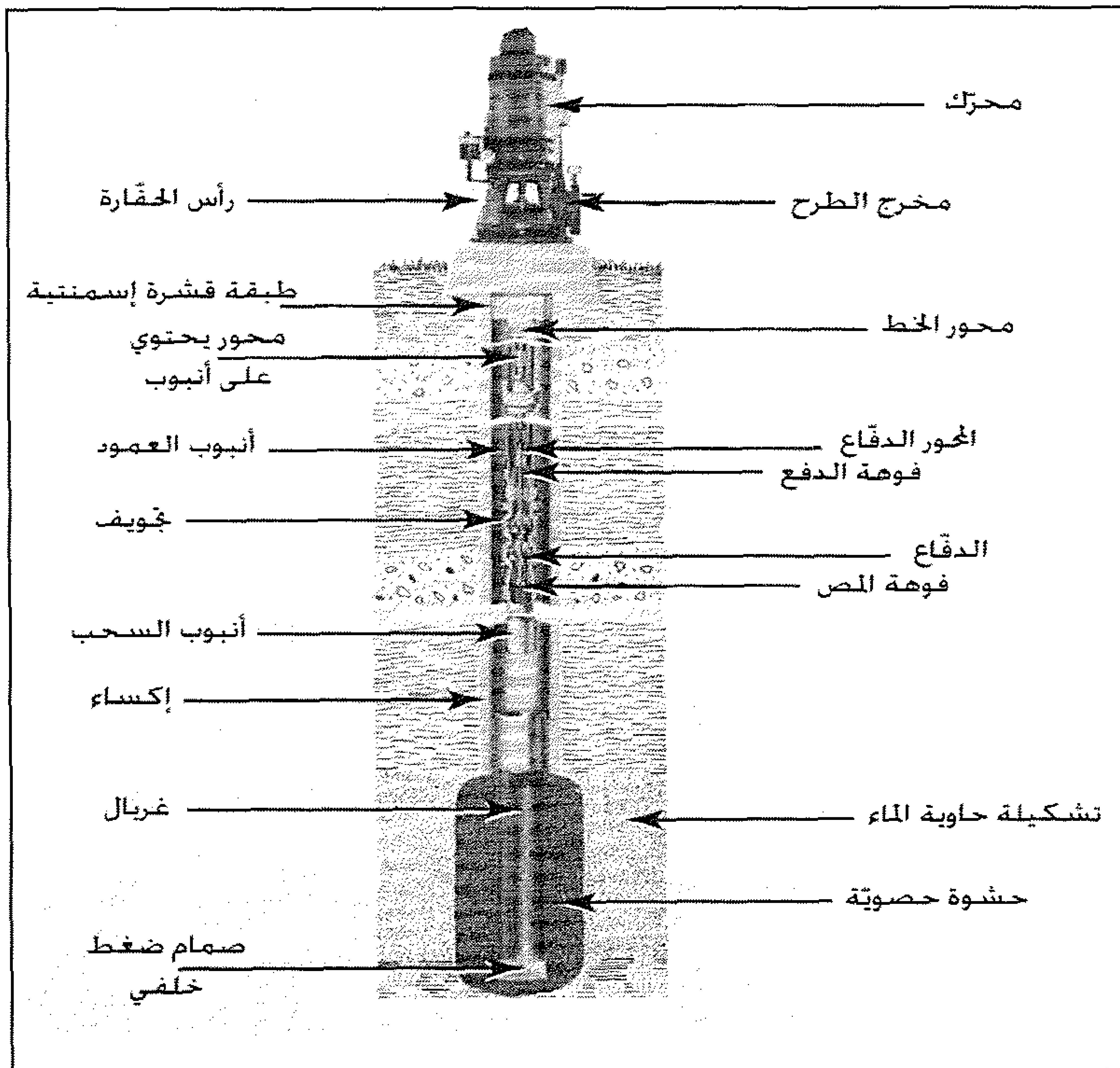
وباستخدام المعادلة 6-4 سيكون:

$$NEF = 1400 \times 1.15 \times 1.17 = 1889 \text{ gpm}$$

NEF = 2000 gpm (مقرباً إلى أقرب 500 gpm)

6-3 إشادة بئر

يمكن للمياه الموجودة في فراغات طبقات الرمل والحصى تحت الأرض أن تصل إلى صنابير التجهيز المنزلي عبر حفر بئرٍ كما هو موضّح في الشكل 6-1. إن المكوّنات الرئيسة للبئر هي إكساء متين مكتّم في الجزء العلوي لدى بروفيل التربة، وغربال ضمن الحامل المائي يسمح للمياه بدخول الإكساء بينما يمنع دخول الرمل والحصى، ومضخة نفّاثة معلقة ضمن الإكساء على أنبوبٍ شاقولي. تنساب المياه الجوفية باتجاه البئر وتدخل إلى الإكساء من خلال فتحات الغربال وترفع للطرح.



شكل 6-1: بئر مدعم بالحصى في حامل مائي رملي مجهّز بمضخة توربينية شاقوليّة ذات مرحلتين. موافقة من:
(Layne, Inc, formerly known as Layne-Western Company, Inc.)

يُنجز حفر الأبار عادةً بطريقة الحفر الدورانيّ الهيدروليكيّ، وفي الحفر الدورانيّ يتقدم العمل بثقب البئر باستخدام قطعة دوّارة ملحقة بالجزء السفلي لوتر أنبوب الحفر محمول بواسطة منصة دوّارة تحت برج الحفر ضمن آلة الحفر، والذي يستخدم لرفع أنابيب الحفر إلى ارتفاع يتجاوز طولها. يتمّ إبعاد فتات الحفر من فتحة البئر بواسطة دوران مستمرّ لسائل الحفر المكوّن من وحلٍ كثيفٍ لزجٍ يتمّ إعداده عبر مزج البنتونيت مع الماء. ينساب الوحل عبر أنبوب الحفر من خلال بزباز فوهة الدخول إلى ضمن التجويف ليعود باتجاه معاكس عبر بزباز فوهة الخُروج خارج الأنبوب. وبعد عودته إلى سطح الأرض، ينساب إلى حفرة يترسب فيها فتات الحفر قبل إعادة دوران الوحل مرة أخرى. ويقوم سائل الحفر أيضاً بإبقاء جوانب البئر مفتوحةً وذلك عبر الضغط الهيدروليكيّ الذي يمارسه عليها إضافة إلى ترسيبه طبقة طينيةٍ تتصلّب وتجفّ على الجدران. بعد تركيب غربال البئر، يتم إصلاح انسداد التشكيلة الصخرية الحاملة للمياه بتنظيف هيدروليكيّ والشطف لإزالة بقايا الوحل. يتمّ إكساء البئر بأنابيب حديدية، أو من فولاذ غير قابل للصدأ أو من كلوريد البولي فينيل. قد يُركّب الإكساء كجدار منفرد باستخدام أنابيب لها القطر نفسه بطولها الأصلي، أو كجدارٍ مضاعف يتشكّل عبر انزلاق أنبوب داخلاً إلى منتصف أنبوب آخر تقريباً. وبعد الانتهاء من الحفر يوضع الإكساء في مكانه ويثبّت عبر حشر قشرة إسمنتية بين الإكساء وجدران البئر. وقد يُسحب الإكساء المؤقّت الذي يخترق الطبقات السطحية وذلك عندما تُحشر القشرة الإسمنتية حول إكساء البئر الذي تمّ إدخاله.

يتراوح طول الغربال عادةً بين 70% و80% من ثخانة الحامل المائي. هناك نمطان شائعان من الغرابيل يستخدمان في آبار المدينة هما الغربال اللولبي المشقوق والغربال المتحرّك المزوّد بمغلاق، يُضبط حجم كل منهما لتحقيق كفاءة هيدروليكيّة نموذجية عالية تسمح بمرور الماء بدون الرمل إلى داخل البئر. تتحكّم فتحات

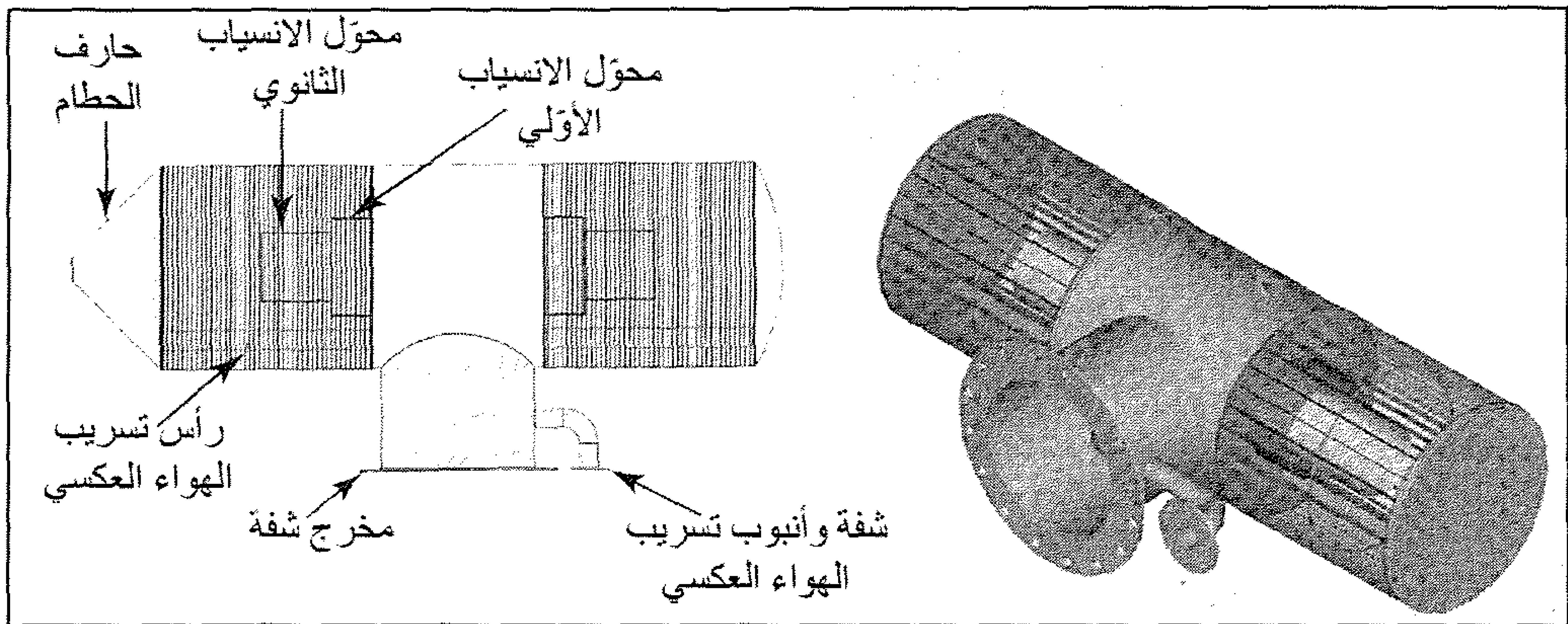
الغربال إضافةً إلى حجم حبات أوساط الحامل المائي، بحجم التدرّج الحبيّ لمواد الحشوة الحصوية. يجب وضع الحصى بحرص شديد في المكان بوسائط ميكانيكيّة أو هيدروليكيّة. سوف يتسبّب الحصى كيفما اتفق حول الإكساء والغربال بتمايز صفوف أحجام الحبات وانفصالها عن بعض وتشكّل جسور ما يتسبّب بتردي الخصائص الهيدروليكيّة وبضخٍ محتمل للرمل.

يتم تطوير البئر بفعل هيدروليكيّ عنيف مثل الضخ والجيشان أو النفث، يمكن إحداث جَيَشانٍ ميكانيكيٍّ بتشغيل مازج يتحرك صعوداً وهبوطاً ضمن الإكساء بحركةٍ مشابهة لحركة مكبسٍ يتحرك ضمن أسطوانة، كما يمكن استخدام كتلة ثقيلة لإحداث جيَشان، غير إن فاعليتها أقلّ. يمكن إحداث جيشانٍ هوائيٍّ وذلك بمد أنبوب هواء إلى ما دون مستوى سحب الماء عبر الغربال ومن ثم ضخ هواء مضغوط. أما في النفث عالي السرعة فتقوم أداة بالدوران ببطء ضمن الغربال ضاربةً الماء عبر فتحاتها. ويهدف تطوير التشكيلة الصخرية الطبيعية الحاملة للمياه إلى تصحيح أيّ ضرر أو انسداد يحتمل حدوثهما في التشكيلة كنتيجة ثانوية للحفر، وإلى زيادة مساميّة ونفوذيّة التشكيلات الصخرية الطبيعية المحيطة بالشبك، وإلى حفظ توازن واستقرار التشكيلات الحاملة للمياه بحيث تغدو خاليةً من الرمل. والتأثير الصافي لهذا التطوير هو تقليل هبوط الماء في البئر والحصول على نوعية مياه أجود.

إن المضخة النفاثة الشاقوليّة متعدّدة المراحل هي مضخة بئرية شائعة الاستخدام، وهي موضحة في الشكل 6-1. والمكوّنات الأساسيّة الأربعة لهذه المضخة هي محرّك دافعٌ مركّب على مستوى الأرض أو مغمور إلى ما دون المضخّة، وعمود أنبوب طرح، وتجويفات المضخة والدفّاعات الموجودة ضمنها، وأنبوب سحب. ووحدات الضخ عبارة عن دفّاعات نابذة تسحب الماء من القاع، ومثبتة على عمود شاقولي يحمل مرحلة أو مرحلتين مغمورتين تحت منسوب الماء ضمن إكساء البئر.

4-6 مناهل المياه السطحية

يتطلب سحب الماء من نهرٍ أو بحيرةٍ أو خزان مائيٍّ توفّر بنية منهل. والمناهل النموذجية هي أبراج أو بُنىً موجودة على خط الشاطئ. والوظائف الأساسيّة للمناهل هي تجهيز مياه بأفضل نوعية من المصدر، وحماية شبكة الأنابيب والمضخات من التلف أو الانسداد الناجم عن فعل الأمواج وتشكّل الجليد والفيضانات وعن وجود حطام طاف أو مغمور.



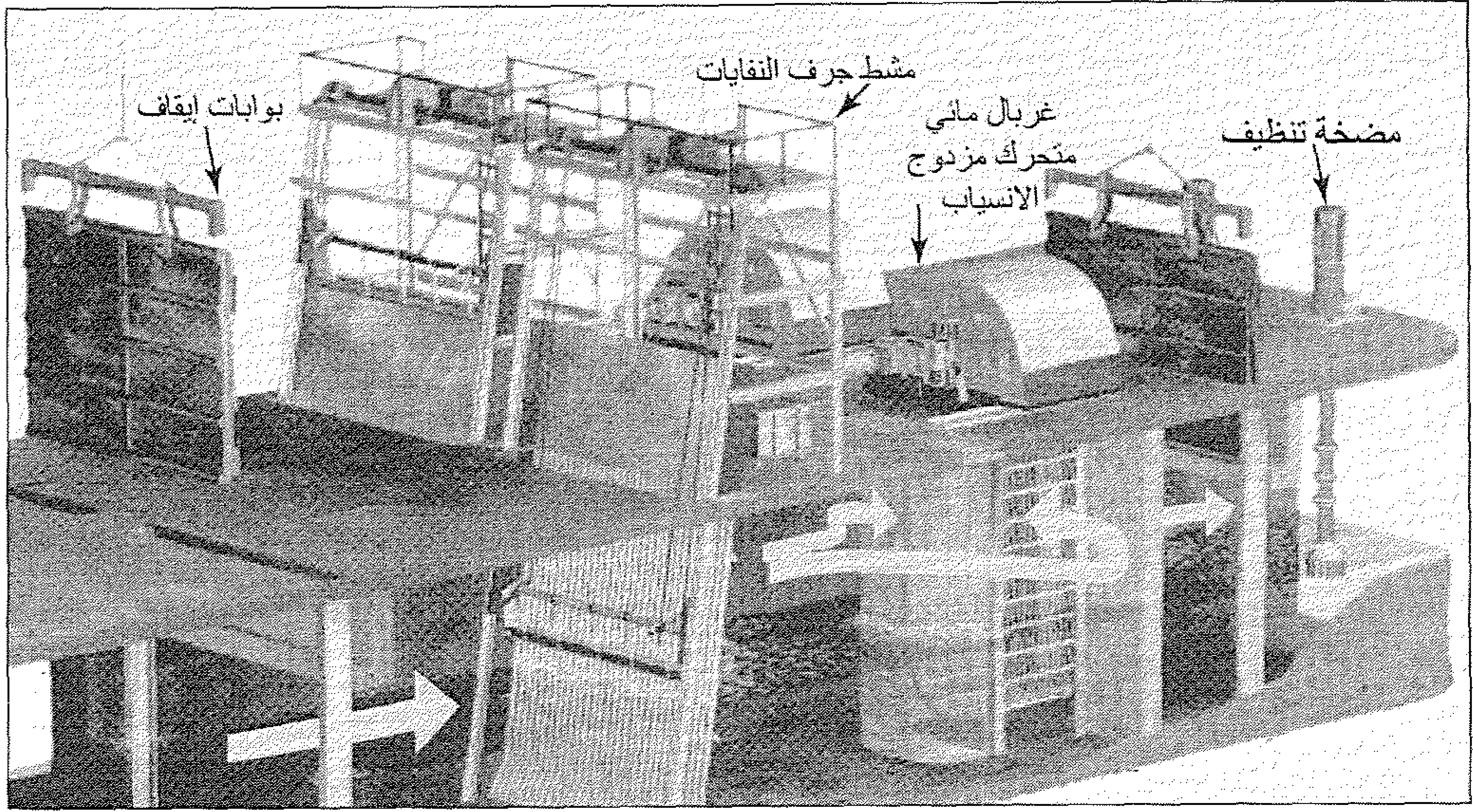
شكل 6-2: منهل أسطواني ذو غربال سلك Vee بمساحة مفتوحة كبيرة يسمح بانسياب الماء الداخل بينما يرفض دخول الأسماك. إن محوّل الإنسياب ذي الأنبوب المزدوج الموجود في قفص الغربال يتسبّب بانسياب متوازن عبر كامل مساحة الغربال. عندما يتراكم الحطام على الجانب الخارجي للأسطوانة، يقوم اندفاع هواء عالي الضغط بالتنظيف من الداخل إلى الخارج من أجل الوصول إلى نظافة فعّالة (موافقة من: Johnson Screens, Inc. A Weatherford Company)

إن حماية الأسماك أمر هام في تصميم وتشييد بُنى المناهل. فإن تمّ تحديد وتأكيد وجود أنواع سمك مهدّدة، ينبغي عندها مراجعة قوانين ونواظم مزارع تربية الأسماك الموضوعة من قبل الإدارة الوطنية للمحيطات والأجواء. إن أكثر الطرق قبولاً ونجاحاً لإبعاد الأسماك عن المنهل هو استخدام حاجز فيزيائي بمساحة غربال فعالّة وبسرعة دخول محدودة. يتمّ في المنهل تركيب غرابيل مكوّنة من صفيحةٍ مائلة أو شاقوليّة مثقّبة على إطارٍ مغمور ضمن المياه المنسابة. يمكن تنظيف هذه

الغرابيل الصفائحية من الحطام المتجمّع بواسطة نظام اندفاع هواء عالي الضغط أو عبر أنظمة ميكانيكية. يوضّح الشكل 6-2 غربال سلك Vee أسطواني الشكل، يُركّب بحيث يكون محوره الطويل موازٍ لانسياب التيار وذلك للإقلال من تجمّع الحطام. يتمّ تثبيت الغربال في موقعه بأنبوب داعم متصل بالبنية المستقبلة للمياه. ونظراً إلى أن الغرابيل الدائرية تنظف بنظام اندفاع هواء، فإن أيّ حطام متراكم أزيل منها، سوف يبقى في مياه المصدر.

تحتاج البحيرات والخزّانات المائية ذات مناسيب الماء المتأرجحة أو ذات مياه يتغير تركيبها مع العمق إلى أبراج. ويسمح وجود فتحات على أعماق متعدّدة بانتقاء الماء الأكثر مناسبة في أيّ وقت من السنة. فمثلاً تكون الطبقة السطحية لبحيرة مخضرة الماء خلال فصل الصيف دافئةً معزّزة لنمو غزير للطحالب، في حين تكون الماء العميقة خاليةً من الأكسجين المُذاب ما يتسبّب بطعم ورائحة كريهين. ومن جانبٍ آخر خلال الشتاء قد تكون المياه التي تأتي تحت غطاء الجليد مباشرة من أفضل نوعيات الماء. كما إن الفتحات المغمورة تمتزّ بكونها خاليةً من الجليد والحطام الطافي. لقد لوحظت تيارات تحت سطحية محملة بالرسوبات في أثناء الجريان السطحي في الربيع ضمن الخزّانات المائيّة، ما يجعل مياه القاع غير مرغوبة، وبالتالي يفضّل وجود برج بفتحاتٍ عالية لدخول الماء. إن مواقع وارتفاع واختيار مستويات الفتحات يجب أن يتم بناءً على خصائص جسم الماء. لذلك فإن مسحاً بحيرياً يجب أن يسبق أيّ تصميم يهدف إلى تحديد درجة وعمق التطبّق الحراري، وتيارات الماء، وتوضعات الرسوبات، وشروط الأترفة غير المرغوبة، وعوامل أخرى.

يجب أن تحدّد مواقع المناهل القريبة من نهرٍ ما، مع الأخذ بالاعتبار التيارات المائية التي يمكن أن تهدّد سلامة المنشأة، وموقع قنوات الملاحة، والكتل الجليدية الطافية وتشكّل الحواجز الرملية، والفيضانات المحتملة. إضافة إلى ذلك فإن اعتبارات نوعية الماء وبُعد الماء عن محطة الضخ ومحطة المعالجة مهمة أيضاً.



شكل 6-3: غرابيل منهل مياه شاطئي. (أ) منصب قضبان خشن لاستبعاد النفايات مع مشطٍ آليّ للتنظيف مع وعاء قمعي لسحب النفايات (قادوس). (ب) غربال مائيّ متحرك مزدوج الانسياب مع آلية تنظيف ذاتية لإزالة الحطام الذي مر عبر منصب قضبان خشن. (ج) بوابات إيقاف مركبّة قبل منصب قضبان خشن. (ج) بوابات إيقاف مركبّة قبل منصب قضبان وبعد الغربال المتحرّك. (موافقة من: US Filter, Envirex Products)

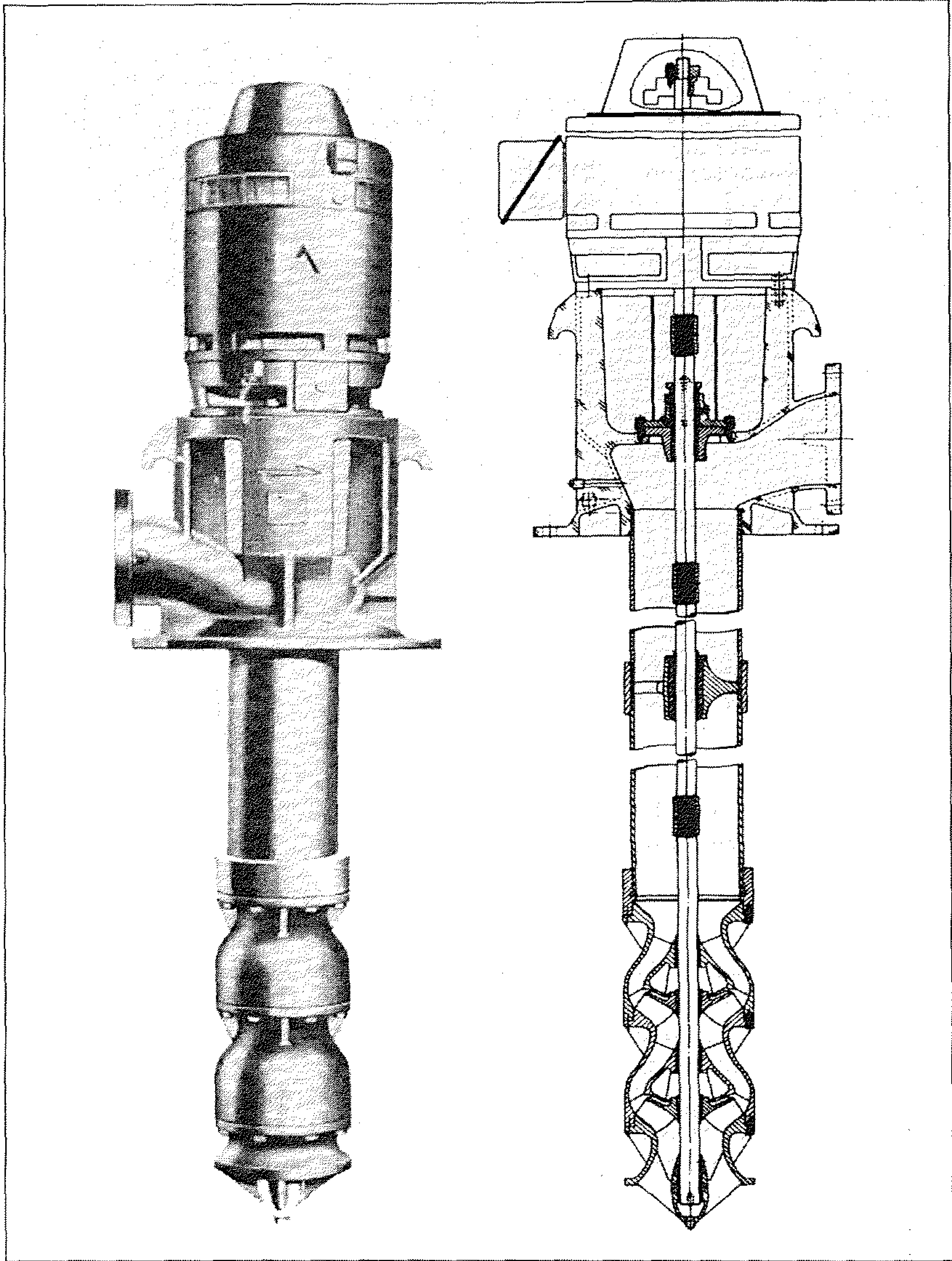
يظهر الشكل 6-3 أنواع أدوات الغربلة المستعملة عادةً في المناهل الشاطئية. يُستخدم غربال خشن ذو قضبان فولاذية شاقولية بفتحات تتراوح بين 1 و.in 3 بوضعية شبه شاقولية، لاستبعاد الأجسام الكبيرة. لقد زُوّد هذا الغربال أيضاً بمنصبٍ مشطيٍّ للنفايات لإزالة الحطام المتراكم. تُزال أوراق النباتات والأغصان والمواد الأخرى التي مرّت عبر القضبان بواسطة غربال أنعم ذي فتحاتٍ تحدّدها ظروف الموقع. تتألف الغرابيل المتحرّكة من صواني صُنِعت شبكاتها من أسلاكٍ تحتفظ بالمواد الصلبة بينما تسمح بانسياب الماء عبرها. يقوم جنزير ومسننات برفع الصواني إلى الغلاف العلوي حيث يزال الحطام بواسطة رشّاش مياه. قد يتطلب الأمر في الشتاء استخدام الحرارة لتفادي تشكّل الجليد. يتمّ انتقال الحطام بشكلٍ متناوب ويتحكم بتوقفه واستمراره كمية المواد المتراكمة.

تقع محطات مضخات الرفع البسيط التي تنقل المياه الخام من المصدر إلى المعالجة، أقرب ما يمكن من الناحية العملية إلى المنهل. وفي حالة وجود برج مياه

أو منهل مغمور، تقع المحطة على شاطئ بحيرة أو حوض مائي أو بالقرب منها. غالباً ما توضع مضخات نهل الماء من خط الشاطئ في المبنى نفسه الذي يضم الغرابيل. تتكون محطة ضخ نموذجية من بئر سحب يقع خلف غرابيل المنهل، أو عند نهاية أنبوب السحب التي تقوم بالطّرح، وأداة ضخ، ومحركات مرافقة، وصمامات، وشبكة أنابيب، وأنظمة تحكم. فإن كان التحكّم ضمن المحطة يدوياً، ينبغي عندها أن يقوم عامل ميكانيكيّ بتشغيل وإطفاء معدات الضخ، وفتح وإغلاق الصمامات، ومراقبة أجهزة تحكّم أخرى. يمكن الإشراف على محطات ضخ أوتوماتيكيّة من خلال لوحة تحكّم مركزيّة موجودة في المحطة، أو يمكن التحكّم بها عن بعد في محطة المعالجة. يتمّ تزويد مضخات بديلة وأدوات مضاعفة كاحتياجات ضرورية لضمان تجهيزٍ مستمرّ بالمياه خلال أعمال الصيانة والإصلاح وتلبية احتياجات الطوارئ من المياه.

يعتمد اختيار مضخات الرفع البسيط على طاقة المحطة، والارتفاع الذي يتوجّب رفع المياه إليه، وعدد المضخات المطلوبة، وطريقة التشغيل المتوقعة، والتكاليف. والمضخة النابذة الشائعة في ضخ الرفع البسيط في مناهل الماء، هي مضخة نفاثة شاقوليّة (شكل 6-4).

ينساب السائل موازياً لمحور المضخة والذي صُمّم بحيث يعمل بكفاءةٍ تحت طرح علوّ منخفض. والمضخة النفاثة الشاقوليّة مضخة نابذة بدفّاعٍ واحدٍ أو أكثر موجودة على مراحل. وحالما يغادر الماء تصريف المرحلة الأولى، يدخل إلى سحب المرحلة الثانية، ويتابع على هذا النحو عبر كافة المراحل اللاحقة. تزيد كل مرحلة من المراحل من معدّل وضغط الانسياب. وما من حاجةٍ تدعو إلى تشغيل مضخة لإقلاع المضخات النفاثة، نظراً إلى أنها قد رُكبت بحيث تكون الدفّاعات مغمورة بالماء.



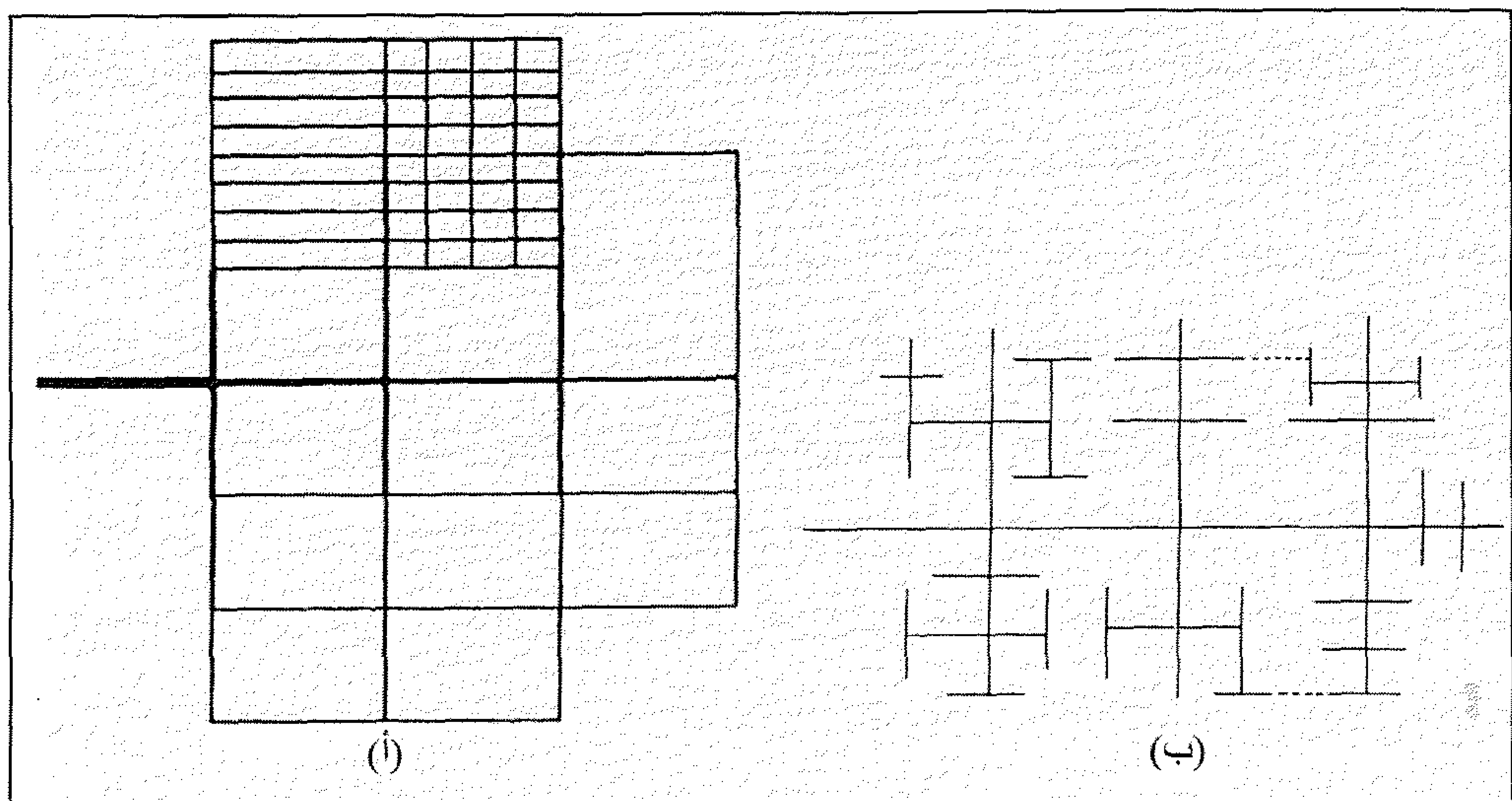
شكل 6-4: مضخة توربينية شاقوليّة (موافقة من: Allis-Chalmers Corp)

6-5 شبكة الأنابيب

يتضمّن نظام توزيع الماء في المدينة شبكةً من الخطوط الرئيسة مع خزّانات لتخزين الماء، ومحطات ضخ معزّزة (إن تطلب الأمر)، وفوهات حريق، وخطوط خدمة. والشرايين الرئيسة (المغذيات)، هي خطوط أنابيبٍ بأكبر حجمٍ ممكن، تمّ

ربطها بخطوط النقل لتقوم بتجهيز المياه المُعدّة للتوزيع. ينبغي تخديم كل مناطق الاحتياج الرئيسة للمياه في مدينةٍ ما عبر حلقة تغذية، كما ينبغي مدّ أنابيب رئيسة شريانيّة مزدوجة إن كان ذلك ممكناً. ويفضّل مد خطين متوسطي الحجم مفصولين عن بعضهما ببضعة بنايات، على مدّ خط منفرد كبير الحجم. يتمّ وصل عرضي لخطين رئيسين متوازيين كل 1 ميل مع تركيب صمام لمنع انعزال أقسام الخط الرئيس في حال حدوث عطل رئيس فيه. يتمّ وصل خطوط التوزيع إلى كل حلقة شريانيّة، لتشكّل نظام حديد مشبّك كامل يخدم إطفاء الحرائق والزبائن المحليين والتجاريين.

إن نظام الحديد المشبّك الموضّح في (الشكل 6-5أ)، هو الترتيب الأفضل لتوزيع الماء. تُربط كل الأنابيب الرئيسة الشريانيّة والثانوية بحلقةٍ كما توصل ببعضها بعضاً، مع تجنب وجود نهايات مسدودة والسماح بدوران الماء بحيث يمكن لطرحٍ شديد من أحد الأنابيب الرئيسة أن يسحب مياهاً من أنابيب أخرى. وعندما يتطلب الأمر صيانة شبكة الأنابيب، يمكن أن تقتصر المنطقة التي ستكون خارج الخدمة على كتلة واحدة من الأبنية إن كان توزّع الصمامات سليماً. ينبغي أن يكون تباعد صمامات الإغلاق الأوتوماتيكي التي تؤمن التقسيم إلى قطاعات 1200 ft (370 m) تقريباً في كل التفرعات اعتباراً من الخطوط الرئيسة الشريانيّة. وعند تقاطع الشبكة لا ينبغي أن يكون هنا أكثر من تفرع واحد من دون صمام، ويفضّل أن تكون كلها ذات صمامات. تتموضع الخطوط الرئيسة المغذية عادةً في كل ثالث أو ثاني شارع بالاتجاه نفسه، وفي كل رابع إلى ثامن شارع في الاتجاه المعامد. يتمّ انتقاء الأحجام لتأمين انسياب الماء للاحتياجات المحلية والتجارية والصناعيّة، إضافة إلى انسياب مياه الحرائق. لا ينبغي لشبكة أنابيب التوزيع في الشوارع البينية أن تقل أحجامها عن 6 in. (150 mm).



شكل 6-5: شبكة أنابيب (أ) نظام توزيع من الحديد المشبّك يتكون من شبكة أنابيب شريانيّة مع شبكة من أنابيب توزيع رئيسة (ب) نظام توزيع غير مرغوب بنهايات مسدودة

يتم تجنب نظام النهايات المسدودة الموضّح في (الشكل 6-5ب) في الإنشاءات الجديدة وغالباً ما يتمّ تصحيحه في الأنظمة القائمة، وذلك بربطه بحلقاتٍ مناسبة. يتمّ وضع دائرة اتصال في الشوارع الرئيسة ضمن خطوط التجهيز بالمياه تحت الرئيسة، بحيث تمتد عمودية لتخدم شوارعاً منفردة بدون الحاجة إلى وصلاتٍ بينية.

وبناءً على ذلك إن حدث عطلٌ في أنبوب فإن جزءاً من تجمّع سكني قد يغدو بلا مياه. وتحت ظروف محدّدة سيتغير طعم ورائحة الماء في النهايات المسدودة نتيجة ركوده. وللحؤول دون ذلك ينبغي شطف النهايات المسدودة بشكلٍ متكرّر في المناطق التي تكون فيها البيوت متباعدة.

قد لا يكون نظام الحديد المشبّك المثالي بخطوط نقل مضاعفة، وخطوط رئيسة شريانيّة، وشبكة أنابيب توزيع حلقيّة، ممكن التحقيق في كل الحالات. فمثلاً، قد يكون تباين الارتفاع في التجمّعات الواقعة على أطراف هضبة مائلة، كبيراً جداً، ما يتطلب وجود نظامين مستقلين أو أكثر. يُفضّل أن يكون الضغط في نظام ذي تباين

كبير في الارتفاعات بين 50 psi إلى 100 psi (690-340 kPa) تحت ظروف معدّل الانسياب. وحيث إن تباين الضغط لـــ 50 psi (340 kPa) مكافئ لفرق ارتفاع قدره 115 ft (35 m)، فإنه ينبغي أن يكون تباين الارتفاع المرغوب بين أعلى نقطة وأخفض نقطة محصوراً ضمن هذه القيمة. وكثيراً ما يتكرر قيام خطوط الأنابيب الرئيسة بخدمة مناطق متباينة الارتفاع، وهي إما إنها غير متصلة اتصالاً مباشراً، أو أنها لا تحوي صمامات تحكّم بالضغط مركبّة في الخطوط المرتبطة بها. ونموذجياً، ينبغي أن تكون شبكة الأنابيب في كل منطقة مكوّنة من نظام حديد مشبّك مع خطوط تغذية رئيسة متعددة. ولكن ذلك غير ممكن التحقيق دائماً نتيجة أسبابٍ اقتصاديّة. وبديل ذلك هو خط شريانيّ رئيس مفرد مجهّز بتفرعات تصنع معه زوايا قائمة، مع تفرعات فرعيّة بينها، بحيث تحيط شبكة من الأنابيب موصولة ببعضها البعض بأنبوب التغذية الرئيس.

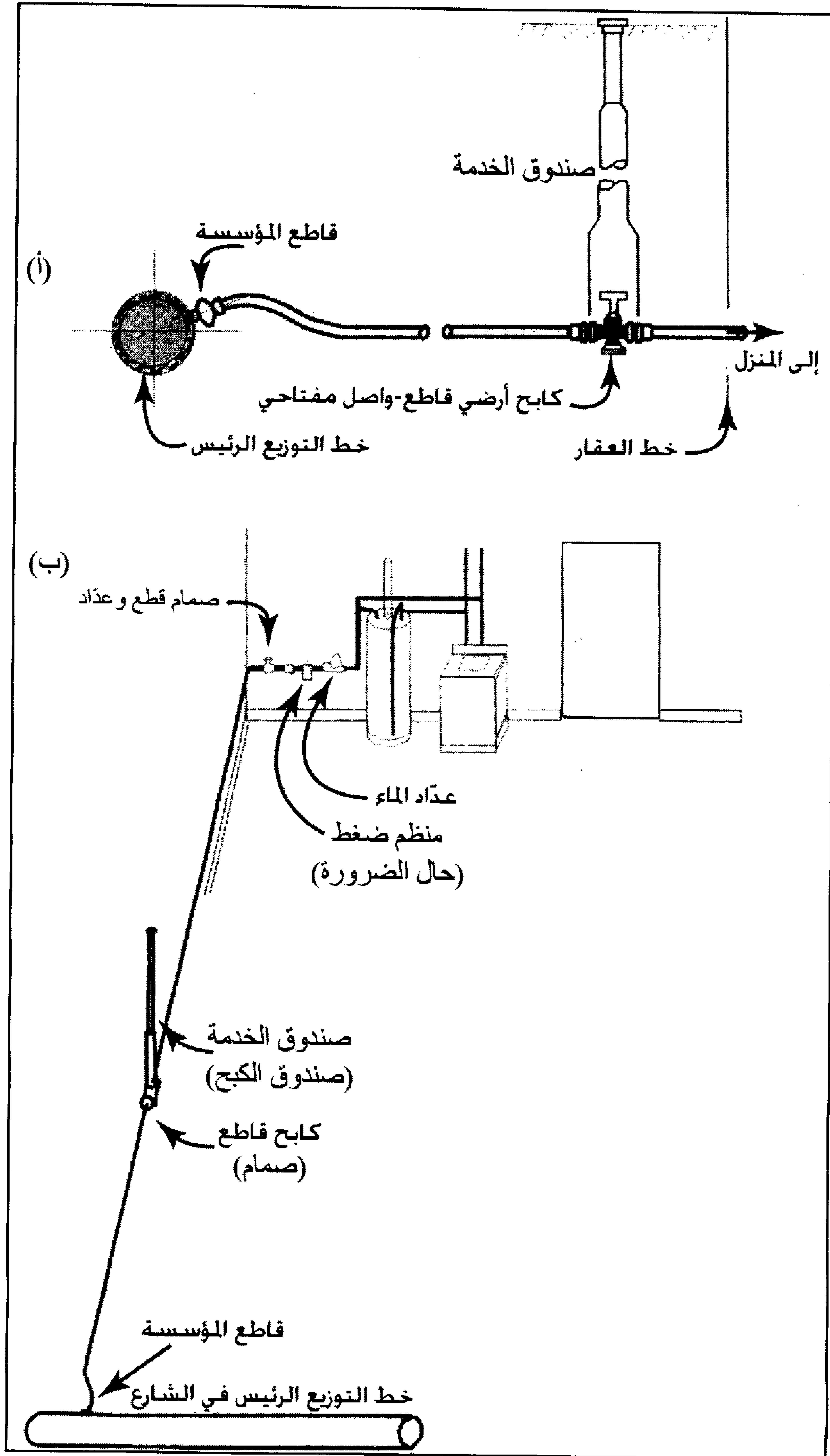
توصيلات الخدمة

تتألف التمديدات النموذجية الموضوعة في الخدمة من أنبوبٍ منبثقٍ من أنبوب التوزيع الرئيس (Distribution Main) إلى صمام إغلاقٍ (Turnoff Valve) يقع بالقرب من الأنبوب التابع للعقار (الشكل 6-6أ). يتمّ وصل هذا الأنبوب بالأنبوب الرئيس عموماً بواسطة قاطع المؤسسة (Corporation Stop)، ويتمّ إدخاله باستخدام آلة ثقب خاصّة بحيث يكون الأنبوب الرئيس موضوع في الخدمة وتحت الضغط. وأحياناً يتمّ تأمين مخارج (Outlets) للأنبوب الرئيس، وذلك في أثناء تركيبه. يتمّ الوصول إلى القاطع الكابح، عبر صندوق خدمة (Service Box) يمتدّ من الصمام إلى سطح الأرض. يُستخدم في صنع وصلات الخدمة (Corporation Stop) عددٌ من المواد، أكثرها شيوعاً، البلاستيك، والنحاس وحديد الصب. وبالرغم من أن أنابيب النحاس تعتبر هي النموذجية في ذلك، إلا أن أنابيب البلاستيك الرخيصة وذات الديمومة نفسها، تُفضّل في الوقت الراهن على النحاسية لاحتمال تسبب هذه

الأخيرة بتلويث مياه الشرب إن تآكلت. يستخدم الحديد الصب في الخدمات المائية الكبيرة التي تصل أحجامها إلى .in 2 أو أكثر. يكون عدّاد الماء، وصمام الإغلاق المرافق (shutoff valve)، ومنظم الضغط (pressure regulator) حال الضرورة، عادةً في الطابق الأرضي للمسكن (الشكل 6-6ب). وفي بعض البلديات يتمّ تركيب عدّاد الماء ضمن صندوق خارج المبنى، وسيّئةُ ذلك تتمثّل بتعرّض العدّاد للتجمّد أو للغمر بالثلج. جُهّزت العدّادات الحديثة (الشكل 4-25) بقارئات عن بعد موجودة خارج المساكن بحيث لا يحتاج موظفو مصلحة الماء إلى دخول الأبنية لتسجيل استهلاك الماء.

لقد ازداد معدّل الاستهلاك السكني الآني في السنوات الأخيرة بسبب زيادة تركيبات استعمال الماء بمعدل استهلاك ثابت. ويبلغ معدّل الاستهلاك المقدّر لبيتٍ نموذجيّ فيه حمامان وغسيل كامل ومطبخ وخرطوم أو خرطومين مقداراً يصل إلى 15 gpm. و مع استثناء محتمل يتمثّل بريّ عشب حديقة المنزل بالترذيذ، فإن ضغطاً قدره 15 Psi سيكون مناسباً عادةً لتشغيل أيّ تجهيز من التركيبات المائية المنزلية. فإذا سمح لــ 10 Psi (23 ft) أن تتجاوز الرفع السكوني من الطابق الأرضي إلى الطوابق العليا، فإن المعيار الأدنى للخدمة المقبول عموماً هو 25 Psi لدى 15 gpm (170 kPa لدى 0.95 l/s) على الجانب (stop) العائد للمستهلك من العداد.

وفي خدمة مائية سكنية نموذجية تتكون من أنبوبٍ نحاسي طوله 40 قد وقطره $\frac{3}{4}$ .in وعداد قرصي قطره .in $\frac{5}{8}$ فسيكون فقد الاحتكاك لاستخدام متزامن للتركيبات المائية (12−6 gpm) في المجال 5-19 Psi. ولذلك فإذا أريد تأمين 25 Psi للمستهلك فإنه ينبغي أن يكون الضغط في الأنبوب الرئيس 40 psi (280 kPa) تقريباً.



شكل 6-6: وصلة نموذجية لخدمة المناطق السكنية (أ) تركيب خط خدمة وصندوق العداد (ب) خدمة مياه كاملة لمناطق سكنية

6-6 أنواع الأنابيب

تتضمّن الأنابيب المُستخدمة في توزيع الماء تحت الضغط الحديد اللدن، والبلاستيك، والبيتون، والفولاذ. تكون عادةً الأنابيب صغيرة الأقطار المُستخدمة في التوصيلات المنزلية، إما من النحاس أو من البلاستيك. ينبغي للأنابيب المُستخدمة في أنظمة النقل والتوزيع أن تتوفّر فيها الخصائص التالية: قوة انثناء وشد مناسبتين لكي تتحمل الحمولات الخارجية الناتجة من الردميات التي ملأت الخندق إضافة إلى تحملها لحركات التربة الناتجة من تشكّل الجليد وذوبانه أو من عدم ثبات ظروف التربة، وقوة تمدّد وتشقّق لتحمل ضغوط الماء الداخلية، وقدرة على مقاومة تأثير الحمولات المصادفة في أثناء نقل ومعالجة وتركيب سطح داخلي أملس غير قابل للتآكل لجعل مقاومة انسياب الماء في حدّها الأدنى، وسطح خارجي غير متأثر بالتربة العدوانية وبالمياه الجوفية، ومواد تُقدّم عادةً مع الأنابيب لإعداد وصلات كتيمة سهلة التركيب والوصل.

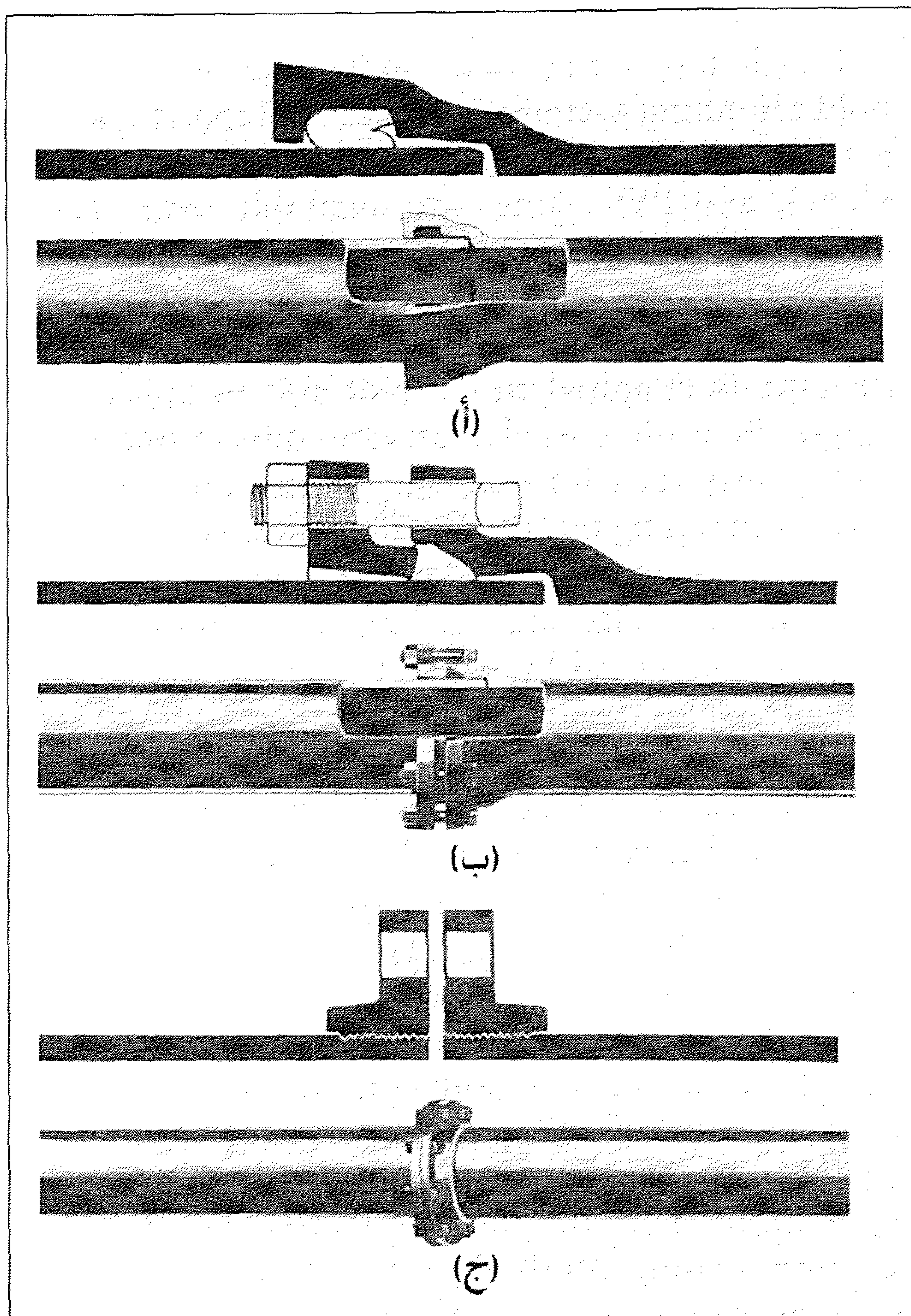
لقد لوحظ أن الحديد اللدن (Ductile Iron) يتمتع بعمر طويل وبصلابة وبممانعة وبسهولة ثقبه لأغراض التوصيل، إضافة إلى قدرته على مقاومة الضغط الداخلي وكذلك الحمولات الخارجية. يُنتَج الحديد اللدن من إدخالٍ حذرٍ لكمية مُتحكّم بها من المغنزيوم في صهير الحديد الحاوي على محتوى منخفض من الكبريت والفوسفور ومعالجته بخليطة سيليكون أساسيّة. إن مثل هذا النمط من الأنابيب أقوى وأمتن وأكثر مرونة من حديد الصب الرمادي. تتوفّر أنابيب الحديد بكل المقاسات إذ تتراوح أقطارها بين .in 2 و48 (50 mm إلى 1200) وبفئات ضغط متعدّدة لدى كل حجم. يعتمد اختيار فئة الضغط على الضغط الداخلي للتصميم، بما في ذلك السماح بالمطرقة المائية (Water Hammer)، والحمولة الخارجية الناتجة عن ردميات الخندق، والحمولات الإضافية الناتجة عن الدوران، وتعويض النقص الناجم عن التآكل والتفاوت المسموح ميكانيكياً في أثناء التصنيع، وكذلك عامل تصميم

الأمان. لقد بُسّطت إجراءات تصميم الضغط بالنسبة إلى أنابيب الماء عبر استخدام المخططات والجداول المطبوعة من قبل اتحادات الأنابيب ومصنعيها. بالرغم من أن الحديد اللدن مقاوم للتآكل، إلا أن عدوانية الماء قد تتسبب بتشكّل حفر (Pitting) في الجزء الخارجي وبتدرّن (Tuberculation) السطح الداخلي للأنبوب. يتمّ عادةً توفير حماية خارجية بتغليف الأنبوب بطبقة من زفت بتيوميني (Bitumastic Tar) بواسطة بزباز رذّاذ (Spray Nozzles). وفي الترب الأكّالة تُستخدم أكمام من البولي إيثلين تُلف بحرية لتكسو خط الأنابيب وتعزل الأنابيب عن التربة. يتمّ لف كل مقطع من الأنبوب بمقطع من البولي إيثيلين قبل إنزاله إلى الخندق. وعند إعداد الوصلات، يتمّ رفع الكم فوق نقطة الاتصال لكي تغطي المقطع المتصل ثم تعاد إلى مكانها. يغلف السطح الداخلي للأنبوب بغلاف رقيق لا تتعدى ثخانته .in $\frac{1}{8}$ من ملاطٍ إسمنتي. يتمّ وضع هذه البطانة في أثناء تدوير الأنبوب بسرعةٍ عالية لدمج الملاط ورصّه ليلتصق بسطح الحديد بحيث لا يمكن لقص وثقب الأنبوب التسبّب بفصل البطانة عن الأنبوب.

يمكن وصل الأنابيب التي يكون طولها عادةً 18 ft، ببعضها البعض بأنماط متعدّدة من الوصلات، وأكثرها شيوعاً موضّحٌ في الشكل 6-7، أما أقدمها فهو وصلة الكأس والسدادة (Bell and Spigot)، حيث يتمّ إدخال النهاية المستوية للأنبوب في النهاية الواسعة لأنبوب آخر ثم تسد بإحكام بواسطة مادة مالئة (Stop) كالرصاص.

لقد أدى هذا التطور إلى نمط وصلات انضغاطية (Compression Joint) يُشار إليها أحياناً بوصلات دفعية أو انزلاقية (Push-on or Slip Joint)، وهي تعتبر اليوم أكثر الوصلات استخداماً في شبكات أنابيب توزيع الماء في الوقت الراهن. يتم ضغط الأنبوب ذي الحافة المستوية (السدادة) (Spigot) في الأنبوب ذي الفتحة الواسعة (Bell) ذات فجوة مُصمّمة خصيصاً لاستيعاب حشوة حلقيّة مطاطية (rubber ring Gasket) تؤمن وصلاً محكماً يحصر الضغط الداخلي.

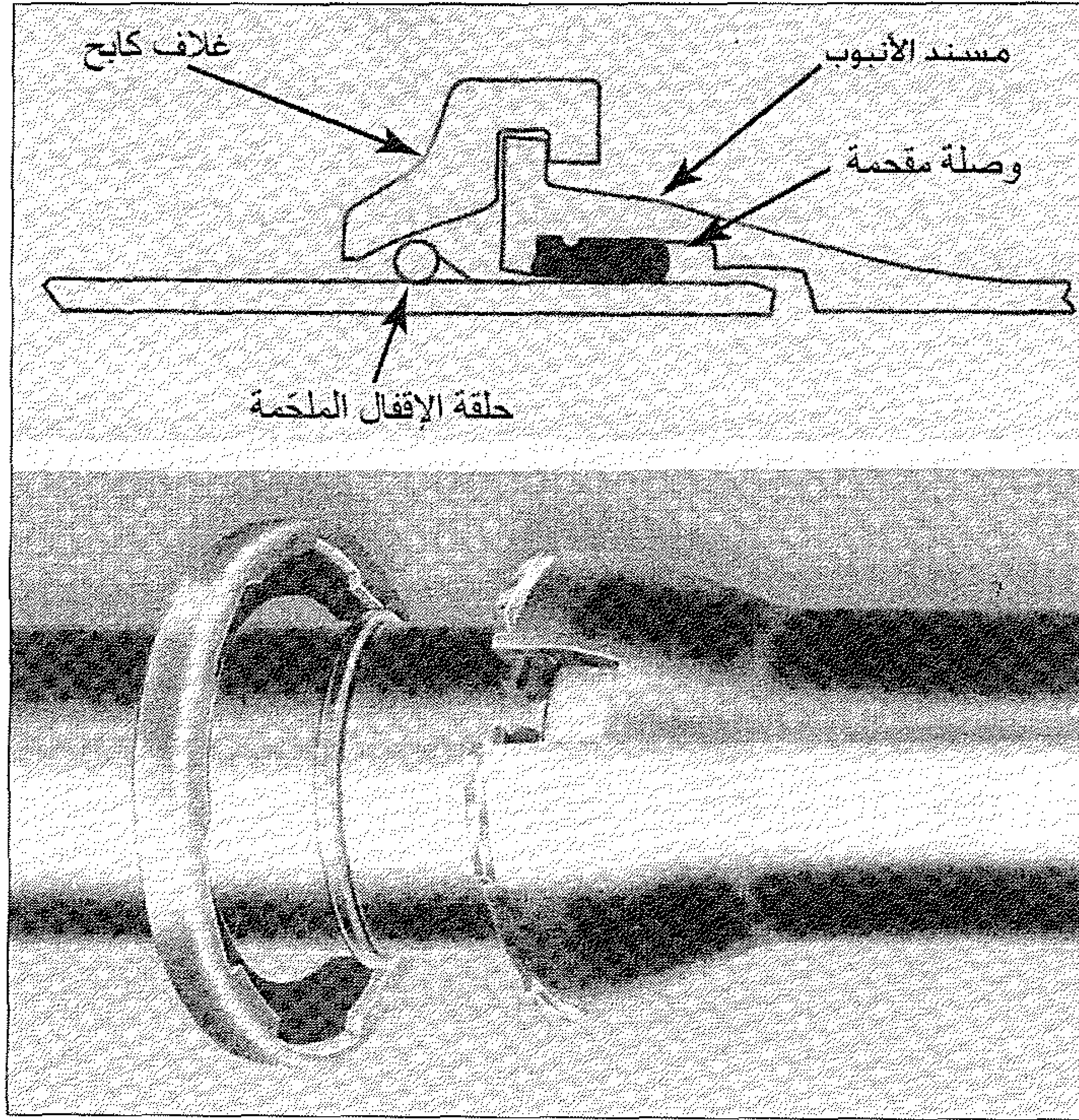
توضع الأنابيب في مكانها بحيث لا تنفصل عن بعضها البعض، ولا تنزلق بتأثير عوامل خارجية، ويتم ذلك بحصرها وحجبها عن التربة المحيطة، وعن الكتل البيتونيّة المنحشرة الضاغطة والوصلات الخاصّة ذات مواصفاتٍ كابحة أو حشوات كابحة خاصة (Special Restraining Gasket).



شكل 6-7: أنواع شائعة لوصلات أنابيب الحديد اللدن. (أ) نمط انضغاطي (نمط انزلاقي). (ب) نمط ميكانيكي. (ج) نمط الوصلة المُشفّهة (موافقة من: Clow Water System Co.)

تتمثّل الميزات الحسنة الرئيسة للوصلات الانضغاطية بسهولة التركيب، وإحكام حصر الماء، والمرونة. تسمح الوصلة بالانثناء ما يمكن من تركيب أنابيب على شكل منحني شعاعي. تبلغ الانثناءات المسموحة °5 للأنابيب التي يتراوح قطرها بين .in 3 و12، وتبلغ °4 للأنابيب التي يتراوح قطرها بين .in 4 و16، وتبلغ °3 للأنابيب التي يتراوح قطرها بين .in 18 و36. تُستخدم الوصلات الميكانيكيّة مبدأ صندوق الضغط (Stuffing Box) لتأمين حصر السائل بإحكامٍ ووصلاتٍ مرنة لشبكة أنابيب التوزيع، لكن استخدامها ليس شائعاً مقارنةً بالوصلات الانضغاطية. تُستخدم عادةً الوصلات ذات الحافة البارزة (Flanged Joints) بفتح سن لولبي على الحافة المستوية (قلاووظ) (threading) ثم إدخالها دورانياً في النهاية البارزة لأنبوب آخر، ومن ثم بثقبهما معاً وتثبيتهما ببراغي (Bolting). تُستخدم وصلات الحافة البارزة عادةً في شبكات الأنابيب الداخلية في المشاريع المائية (Water Plants). بالإضافة إلى هذه الأنماط الثلاثة الشائعة، تتوفّر أنماط محدّدة لتركيبات خاصة (Special Installations Pipelines). فمثلاً تُستخدم شبكة الأنابيب تحت الماء أو أيّ تطبيقات أخرى، والتي تتطلّب وصلات مرنة جداً، وصلات كأس وسدادة مثبتة أو غير مثبتة ببراغي.

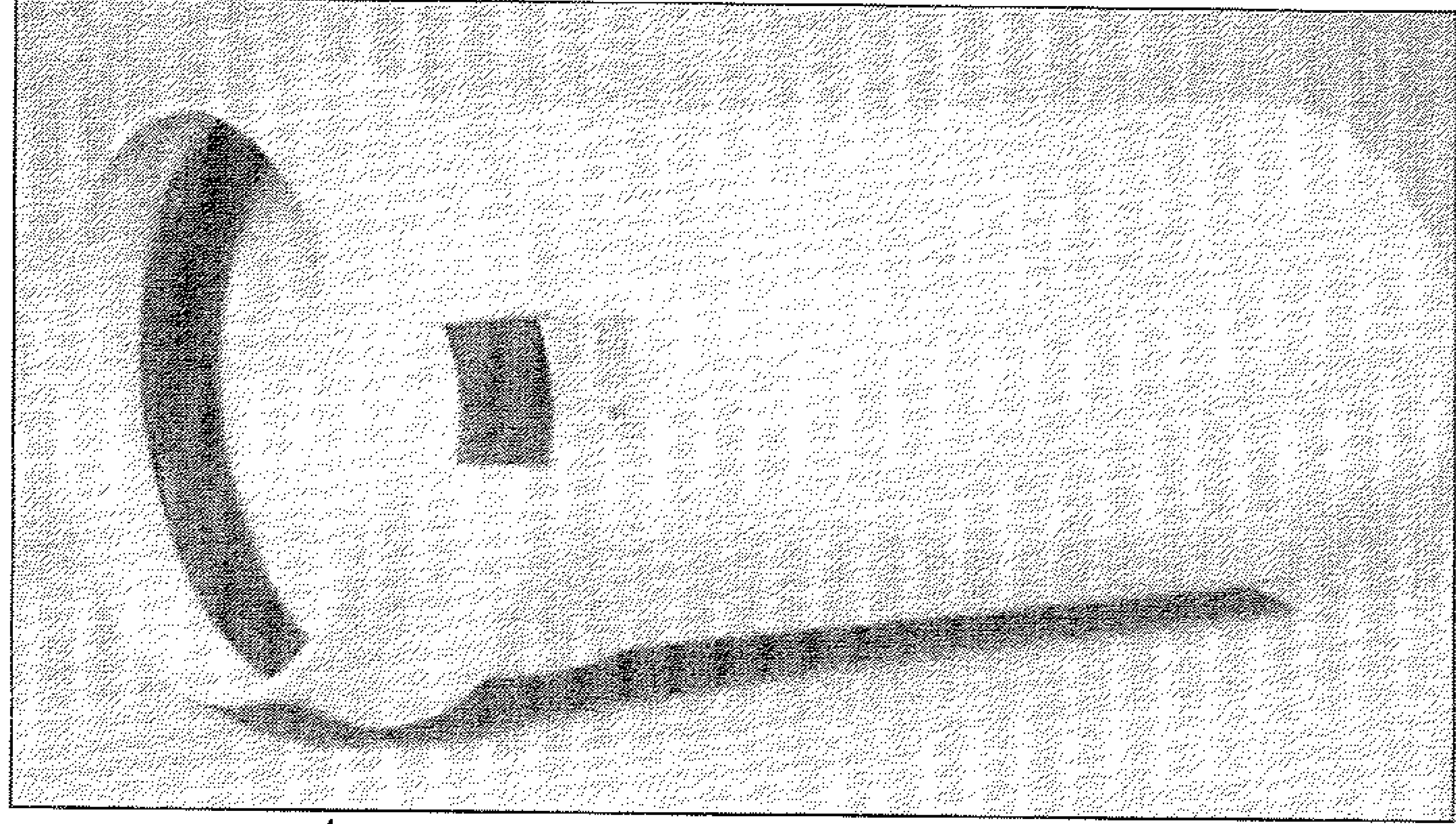
يظهر الشكل 6-8 وصلة أنبوب محكمة غير مثبتة ببراغي تُستخدم في أنابيب الحديد اللدن المُستخدم في نظام شبكات أنابيب التوزيع. ويمكن استخدام هذه الوصلة مكان الوصلات الميكانيكيّة المثبتة (Bolted Mechanical Joint) الموضحة في (الشكل 6-7ب). يتمّ وضع غلاف كابح (Retainer Casing) على الحافة المستوية وتلحم في المصنع حلقة الإقفال في موقعها. وعند تجميع الأنابيب حقلياً تقحم النهاية المستوية للأنبوب في النهاية الكأسية لأنبوبٍ آخر ويتمّ تثبيت إحكام الوصلة. وأخيراً يقحم المثبت على نهاية الكأس ويقفل خلف المسند على الكأس.



شكل 6-8: قفل ممتاز غير مثبتٍ ببراغي® من نمط وصلة مكبوحة دفعية لأنبوب حديد لدن قطره يتراوح بين .in 6 و30 .in. (موافقة Clow Water System Co).

لقد تمّ إدخال قفل المثبت ومشبك الأسطوانة وفقاً للاتجاهات. يتمّ القيام بأي ثني (Deelction) ضروري للوصلة بعد تجميع الوصلة كاملة. لا تتأثر الأنابيب البلاستيكية، وبشكل أدقّ الأنابيب البلاستيكية الحرارية بالتآكل (Corrosion) أو بالتردي (Deterioration) بسبب التحلّل الكهربائي (Electrolysis)، أو بالمواد الكيميائيّة، أو النشاط الحيوي (Biological Activity)، فضلاً عن أنها ناعمة بشكلٍ استثنائي ما يجعل فقودات الانسياب المائي في حدّها الأدنى. تصنع أنابيب البلاستيك عبر عملية قوالب الحقن انبثاق (Extrusion) بينما يتمّ تشكيل التركيبات والوصلات بقوالب حقن (Injection molds). تُبّرد المنتوجات ببطء وتصاغ (Shaped) لاحقاً بواسطة أدوات تحجيم لضمان الوصول إلى أبعاد دقيقة. والـ PVC (كلوريد بولي فينيل) هو البلاستيك المفضل لشبكات أنابيب توزيع الماء بسبب متانته ومقاومته

للضغط الداخلي. وبالرغم من أن للـــ PVC معامل مرونة أقلّ بوضوحٍ من الحديد، وبالتالي أقلّ مقاومة لاضطرابات الضغط. تبلغ أحجام الأنابيب المصنعة الشائعة من 4 إلى .12in (100-300 mm) من فئات ضغط داخلي قدورها 100، 150، 200 psi. يصنف أنبوب PVC لدى درجة حرارة معيارية قدرها 73.4°F والتي تعتبر كافية لمعظم أنظمة توزيع الماء.



شكل 6-9: وصلة PVC من نمط الكأس السدادة الانضغاطي تُستخدم سدادة من حشوة مطاطية. (موافقة من: Certain-teed Products Corporation)

ولدى درجات حرارة مرتفعة تتناقص مقاومة الضغط حتى تصل إلى قيمة حدية بالقرب من درجة حرارة قدرها 150°F. ولوصل أنابيب الماء الرئيسة المصنوعة من الـــ PVC، تُستخدم سدادة مطاطية (Rubber Seal) تملأ بانطباق محكم التجويف (Recess) الموجود في النهاية الكأسية (Belied End) للأنبوب (شكل 6-9) إن النهاية السادّة قد تمّ حفّها وإمالة حافتها (Beveled) كي يسهل تركيبها، ويتم إنجاز الوصلة ببساطة عبر دفع هذه النهاية بعد تشحيمها في الكأس وضغط الحشوة المطاطية لتأمين انطباق محكم كاتم للضغط (Pressure-Tight).

تتضمّن أنابيب البلاستيك المُستخدمة في أنظمة التمديدات والتوصيل المنزلية ABS (بوليميرات أكريلونيتريل، البوتاديت، والستيرين)، وPE البولي إيثيلين، والـــ PVC. يتوفّر طيف واسع من الأحجام لكل منها فبالنسبة إلى الـــ ABS، تتباين من .in $\frac{1}{2}$ إلى

12، أما بالنسبة إلى الـــ PE فتتراوح من $\frac{1}{2}$ إلى .in 6، في حين تكون بالنسبة إلى الـــ PVC بين .in $\frac{1}{2}$ و16. ونظراً إلى كون PVC والـــ ABS منتوجات شبه صلبة (Semirigid)، فإنه يتمّ إنتاجها على شكل أنابيب بأطوال 39-20 ft. بينما تنتج أنابيب الـــ PE على شكل لفات يتراوح طولها من (100 – 500 ft). تُستخدم أنابيب الـــ PE عادةً في توصيلات الخدمة، بينما تُستخدم أنابيب ABS بصورة أساسية في شبكة مصارف المياه السطحية، ومياه الصرف وفي تركيبات فتحات التصريف والتنفيس (Vent Fittings)، وكذلك في شبكات أنابيب الاستعمالات الداخلية.

يتم وصل الأنابيب البلاستيكية بطرق عدّة تبعاً للحجم والاستعمال والمادة المكوّن منها. فتوصّل أنابيب الـــ ABS بربطها بأسلوب برغي -- قلاووظ (Screw-Threaded Couplings)، وبلحمها بمادة مذيبة (solvent weld)، أو بربطها انزلاقياً (Slip Couplings). بينما توصّل أنابيب الـــ PE بإدخالها وانطباقها (Insert Fittings)، أو بتوسيع فتحة أحد طرفي الأنبوب (Flaring)، أو بالربط الإنضغاطي (Compression Jointing). إن طريقة الإدخال والانطباق (Insert-Fitting) تنجز بوضع أنبوب داخلي داعم في نهايتي الأنبوبين وربطهما بملقاط كلاب خارجي (Outside Clamping). يمكن توسيع فتحة أحد طرفي أنبوب PE بأدوات خاصّة مع استعمال الحرارة لتليين مادة الأنبوب. يسمح هذا الأسلوب بربط خطوط الخدمة البلاستيكية مباشرة في الكوابح التقليدية (Conventional Curb) وقواطع المؤسسة (Corporation Stops). إلا أن هناك طريقة أخرى تستخدم أكمام (Sleeves) وخواتم حلقيّة معدنية داخلية (Internal O-Rings) من مقسّيات معدنية (Metal Stiffener) تُمكّن من تشكيل وصلة انضغاطية تحصر الماء بإحكام. إن أبسط طرق وصل أنابيب الـــ PVC وأكثرها شيوعاً واستخداماً هي نظام اللحم بمادة مذيبة (Solvent-Weld System)، والربط بطريقة نهاية الأنبوب الكأسية (Belied-End Coupling.). يمكن ربط الـــ PVC كيميائياً باستخدام مذيبات تذيب البلاستيك. تختلط سطوح البلاستيك المُذاب عندما تضغط على بعضها بعضاً وتشكّل طبقة متحدة

متراصة بتبخر المادة المذيبة. قد تُستخدم طريقة نهاية الأنبوب الكأسية اللحم بمادة مذيبة أو حشوة مطاطية (Rubber Gasket). ففي الحالة الأولى تلصق النهاية المستوية للأنبوب الأول ضمن الكأس الموجودة على طرف الأنبوب الثاني بشكل مستو. تُستخدم ثلاثة أنماط من الأنابيب البيتونيّة المسلحة لقنوات ضغط الماء: أسطوانة فولاذية (Steel Cylinder)، مسبق الإجهاد ذو أسطوانة فولاذية (Prestressed With Steel Cylinder)، ولاأسطواني مسلح وغير مسبق الإجهاد (Noncylinder Reinforced, Not Prestressed). يمتاز الأنبوب البيتوني (Concrete Pipe) بدوامه وبشدة إحكامه وبرخص تكلفته. ويُستخدم على وجه الخصوص في الأنابيب كبيرة الأحجام التي يمكن أن تصنّع في موقع الإنشاءات أو بالقرب منه باستخدام العمالة والمواد المحلية بقدر توفرهما. إن الأنبوب غير مسبق الإجهاد ذا الأسطوانة الفولاذيّة (Nonprestressed Steel-Cylinder) هو أنبوب فولاذي ملحوم (Welded Steel Pipe) محاط بقفص تسليح فولاذي (Cage of Steel Reinforcement) مملوء ومغطىً بالبيتون. ويقوم البيتون بحماية الفولاذ من التآكل ويوفر سطحاً داخلياً أملساً، كما يساهم في زيادة مقاومة الانضغاط (Compressive Strength) ما يمكن من مقاومة الضغوط الناتجة من الحمولات الخارجية. تُستخدم هذه الأنابيب لتحمل ضغوطاً داخلية تتراوح بين 40 psi و260. وفي حال ضغوط أعلى تتراوح بين 50 psi و350، فإنه ينبغي أن يُجهد الأنبوب ذو الأسطوانة الفولاذيّة مسبقاً وذلك بلف سلك مباشرة حول نواة مكوّنة إمّا من أسطوانة فولاذيّة مغلفة بالبيتون أو من أنبوبٍ بيتوني مغروس (Imbedded) بأسطوانة فولاذيّة. ومن ثم يغلف الجزء الخارجي للنواة مسبقة الإجهاد بملاط إسمنتي. يستخدم الأنبوب البيتوني المسلح بقضبان فولاذيّة (Steel Bars) أو بهيكل سلكي (Wire Fabric) بوجود أسطوانة فولاذيّة أو ما دونها في متطلبات نقل الماء تحت ضغط منخفض لا يتعدى 45 psi. تصنع أنابيب البيتون المسلح بأقطار تتراوح بين 16 in. و144. كما تتباين أطوالها وفقاً لأقطارها ،أكثر هذه الأطوال المصنعة شيوعاً هي 8 ft، 12، 16. والوصلة التقليدية لأنبوب بيتوني هي الكأس والسدادة مع حلقات معدنية وعناصر إغلاق

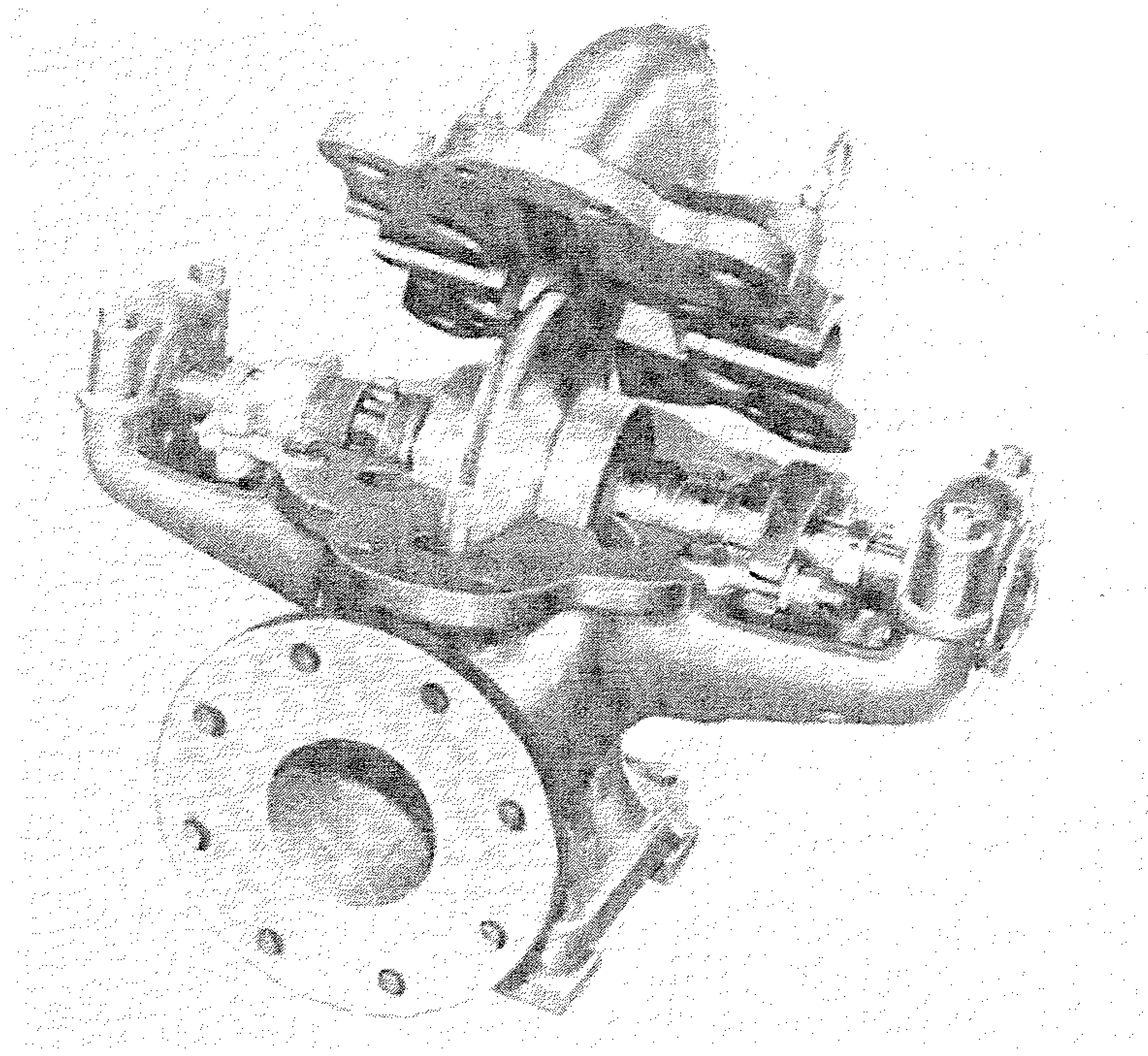
(Sealing Element) بما فيها السدادات المطاطية (Rubber Seal). توضع حشوة على الأخدود الخارجي لحلقة السدادة المواجهة للسطح الفولاذي ومن ثم تدفع بقوة في حلقة الكأس الفولاذي لأنبوب ثانٍ. تؤمن الحشوة المطاطية إغلاقاً محكماً للمياه بملئها للأخدود في شروط انضغاطية محكمة. ثم يُسد الفراغ الضيق بين سطحي الكأس والأنبوب بحشوة بلاستيكية مرنة لاصقة، كما تُدهن وجوه الوصلة الفولاذيّة المكشوفة.

تُبدي الأنابيب الفولاذيّة المُستخدمة في خطوط النقل خصائص مقاومة عالية (High Strength)، وقابلية للنقل دون انقطاع (Yield Withut Breaking)، ومقاومة للصدمات (Resistance to Shock)، وتبقى الوقاية الحريصة تجاه التآكل ضرورية حتماً. يتضمّن التغليف الخارجي الشائع دهان أساس (Paint Primer)، ومينا فحمي قطراني (Coal Tar Enamel) إضافة إلى اللف (Wrapping). تعتمد المواد المُستخدمة على البيئة الأكّالة (Corrosive Environment) للأنبوب وموقعه فوق الأرض أو تحت الأرض. أما البطانة الداخلية للأنبوب فقد تكون مينا فحميّ قطراني أو ملاطٍ إسمنتي. إن نمطيّ أنابيب الفولاذ المصنعين هما الأنبوب الملحوم كهربائياً (Electrically Welded) والأنبوب المصبوب (Will Type). تُصنّع نهايات الأنبوب بطرقٍ متنوعة لتأمين التوصيل الحقلي أهمها: نهايات مستوية أو مائلة للحمها حقلياً (Plain or Beveled Ends)، نهايات بارزة للتثبيت بالبراغي (Flanges for Bolting)، نهايات متراكبة للبرشمة (Bumped or Lap Ends for Riveting)، نهايات: كأس – سدادة مع حشوة مطاطية (Spigot Ends With Rubber Gasket).

7-6 ضخ التوزيع وتخزين الماء

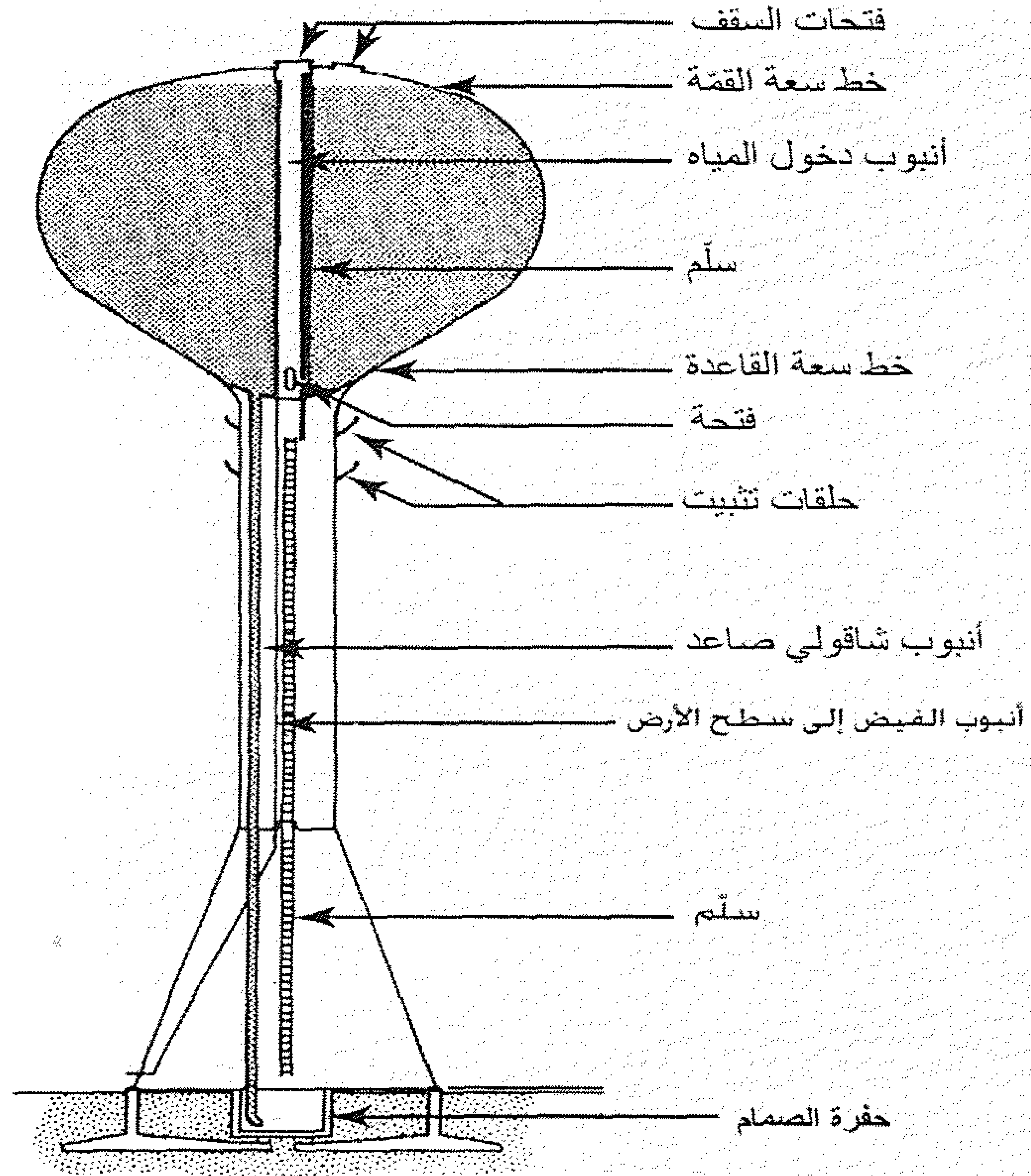
تحرك مضخات الرفع العالي والمياه المعالجة من الحوض في محطة المعالجة إلى نظام التوزيع. قد يتطلب الأمر أطقماً مختلفةً من المضخات لتأمين الضخ ضد ضغوطٍ غير متساوية إلى مناطق خدمة مختلفة. وفي هذه الحال، تُربط بعض المضخات مباشرة بالخدمة الرئيسة في المناطق المنخفضة، بينما تُستخدم وحدات تعزيز لتأمين الوصول إلى ارتفاعات كبيرة في النظام. إن أكثر أنماط المضخات شيوعاً لخدمة المناطق المرتفعة هي المضخات التوربينية الشاقوليّة (Vertical

(Turbine Pumps) والمضخات النابذة الأفقيّة ذات القطعتين (Horizontal Split-Case Centrifugal Pumps)، نظراً إلى كفاءتها الجيدة وقدرتها على إيصال الماء إلى علوّ ذي تصريفٍ كبير (High Discharge Heads). يظهر الشكل 6-10 مضخة بتصميم سحبٍ مزدوج، بحيث يسحب الماء من كلا جانبي الفتحتين الحلزونيتين (Double Volute Case) الأمر الذي يضمن توازناً شعاعياً ومحورياً لجعل الضغط أصغرياً على كرات التحميل (الرولمانات). يقوم الدفّاع بطرح الماء في الفتحتين الحلزونيتين دائمتي الحركة والدفع، وبالتالي يتراجع علوّ السرعة ما يتسبّب بازدياد علوّ الضغط. تعمل مثل هذه المضخة في مجال من طاقة التشغيل تمتد من انسياب التصميم إلى التوقف دون خسارة كبيرة سواء في ضغط التصريف أو في الكفاءة. وقد نُوقِش هيدروليك المضخات النابذة وخصائص النظام في الفقرات 4-4 و4-5.



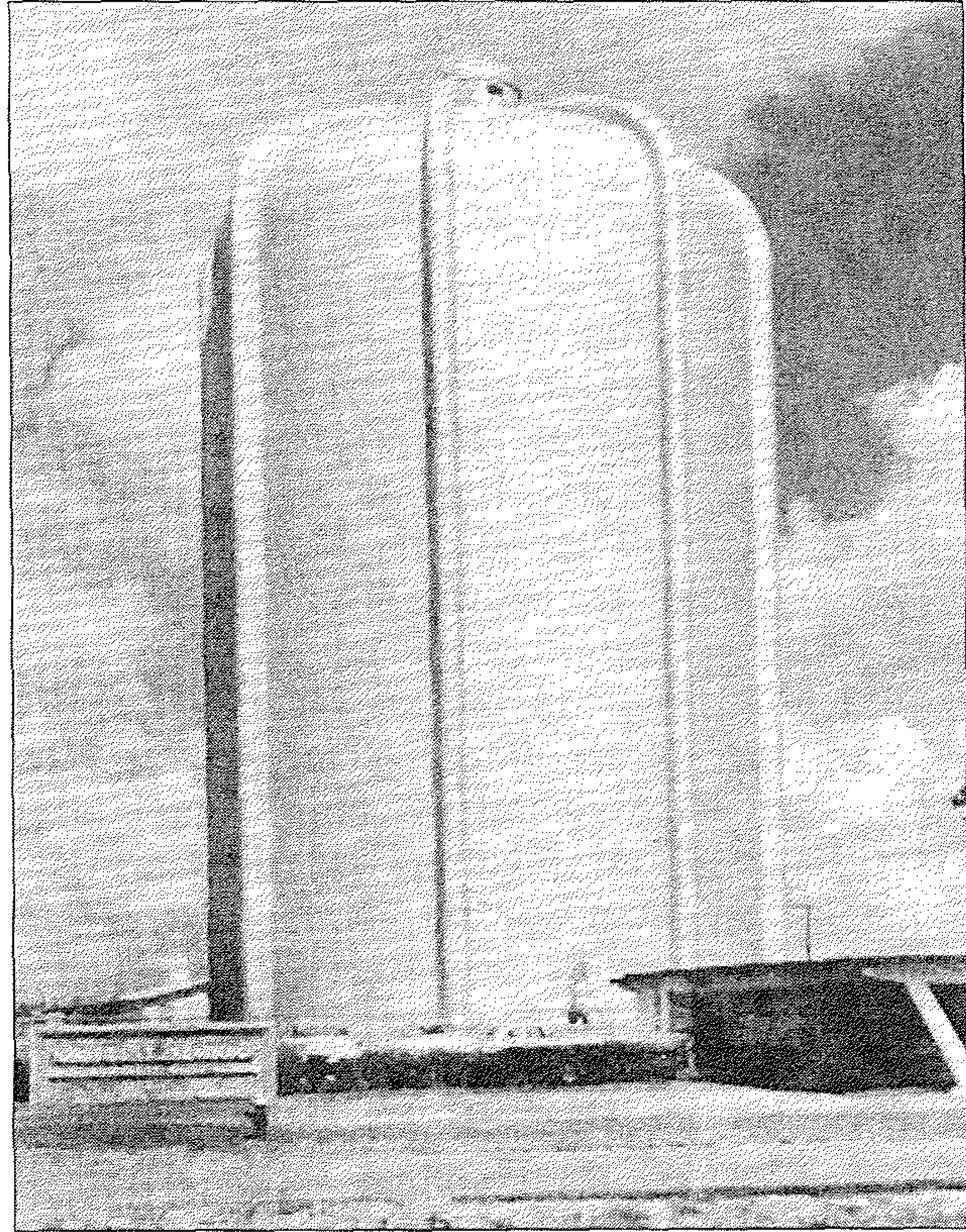
شكل 6-10: مضخة سحب مزدوج نابذة بقطعتين منفصلتين أفقياً (Horizontal split-case double-suction centrifugal pump) لضخ الخدمة العالية في المنشآت المائية الكبرى. (موافقة من: Fairbanks Morse Pump Corporation)

يمكن تأمين تخزين التوزيع بخزانات مرتفعة والأنابيب القائمة الشاقوليّة أو بأحواض تحت الأرض أو بخزاناتٍ مُغطّاة. تُصنع خزّانات فولاذيّة مرتفعة بأشكال إهليلجيّة وكرويّة متعدّدة وبسعاتٍ تتراوح بين 50000 mil gal و3.0 (شكل 6-11)، إن ميزة التخزين المرتفع هي تأمين ضغطٍ متأتٍّ من الاحتفاظ بالماء مرتفعاً عن الأراضي المحيطة. يُحافظ على الخزّانات الفولاذيّة عادةً من التآكل بدهن سطوحها الخارجية وبتركيب أدوات حماية مهبطية (Cathodic Protection Equipment) لحماية سطوحها الداخلية. فإن كانت مياه الثقالة غير ضرورية أو إذا تم تأمينها عبر ضخ معزّز، فسيتمّ استخدام إمّا خزّاناتٍ أنبوبية شاقوليّة (Vertical Standpipe) تُشاد على مستوى سطح الأرض (Ground-Level Water)، أو استخدام الأحواض.



شكل 6-11: خزان لجمع الماء كروي مرتفع (elevated spheroid-shaped) متوفّر بسعات تتراوح من mil gal 0.50 إلى 3.0 وبارتفاع محدّد من قاعدة الخزان (موافقة من: .Chicago Bridge and Iron Co)

تتوفّر خزّانات أنبوبية شاقوليّة من الفولاذ عادةً بأحجامٍ تصل حتى 5 mil gal. وعموماً يستخدم المصطلح خزّانات أنبوبية شاقوليّة إذا تجاوزت ارتفاعاتها أقطارها، أما إذا تجاوزت أقطارها ارتفاعاتها فتسمى خزانات (Reservoir). يمكن أن ينشأ الخزان فوق الأرض أو تحت الأرض. لقد زادت التصاميم الجديدة المتمثلة بخزانات بيتونية حلقية مسبقة الإجهاد، من إحكام حفظ الماء وخفضت من تكاليف الصيانة.



شكل 6-12: خزان أنبوبي شاقولي فولاذي مجمل لتخزين مياه على مستوى الأرض يصمم ويبني بأيّ سعة (موافقة من: .Chicago Bridge and Iron Co)

يقع عادةً تخزين البئر الصافي (Clear-Well Storage) في محطة معالجة تحت السويات القاعدية الحصوية للمرشح والتي توفّر ما يماثل بنية سقف (Roof Structure). تسمح السعة التخزينية في محطة معالجة بالاختلاف في معدّلات إنتاج

الماء وفي معدّلات طرح محطات الرفع العالي إلى نظام التوزيع. قد يتم التجهيز بحجم بئر صافي إضافي كي يخدم كتخزين توزيع (Distribution Storage).

يعتمد الاختيار في توزيع الماء بين تخزين مرتفع وتخزين على سطح الأرض على الطبوغرافيا، وحجم التجمّع البشري وعلى وثوقيّة التجهيز بالماء، وعلى الجوانب الاقتصاديّة. تُفضّل إقامة منشآت التخزين على سطح الأرض على تلال ذات ارتفاع كاف يؤمّن ضغوطاً مناسبة، لكن من النادر توفّر مواقع مناسبة على أعالي التلال. ولذلك فإن الأمر يتطلب وجود خزّانات مرتفعة أو خزّانات عند مستوى الأرض مع مضخات معزّزة. ينبغي تقدير النواحي الاقتصاديّة وجدارة ومزايا التخزين عند مستوى الأرض، مقارنة بالتخزين المرتفع لكل منطقة على انفراد. وعموماً يُعتبر التخزين المرتفع أكثر اقتصاديّة ويُوصى به في أنظمة الماء الصغيرة. وغالباً ما تكون الخزّانات وتجهيزات الضخ المعزّز أقلّ كلفة في الأنظمة الكبيرة حيث يمكن تأمين إشراف مناسب. كما تتوفّر فيها تجهيزات موثوقة وتحكم أوتوماتيكي من أجل التشغيل عن بعد ومن أجل محطات التعزيز الأوتوماتيكية.

إن الدور الرئيس لتخزين التوزيع هو السماح بمعالجة مستمرة ومعدّلات ضخ متجانسة للمياه في نظام التوزيع، والمخزّن مسبقاً لتلبية احتياجات فعليّة في موقع أو أكثر. تكمن المزايا الرئيسة لتخزين الماء بتساوي الطلب على مصدر الماء، والمعالجة، والنقل، والتوزيع تقريباً، وإنقاص الأحجام والسعات الضرورية، واستقرار ضغوط انسياب النظام عبر كامل منطقة الخدمة، وتوفر تجهيزات احتياطيّة بالماء للحالات الطارئة كمكافحة الحرائق أو انقطاعات التيار الكهربائيّ. ولتقدير كمية المخزون المطلوب، ينبغي الأخذ بالاعتبار كلاً من حجم المياه المُستخدمة لتلبية تغيرات الاحتياج المائي، وكمية المياه المُتعلّقة باحتياطات الطوارئ. يتمّ تقدير التخزين الضروري للتعديل بين الاحتياج للمياه والتجهيز بها، وذلك تبعاً للتغيّرات الساعية لاستهلاك الماء في يوم يكون استخدام الماء بحده الأقصى.

إن موقع تخزين التوزيع وسعة المخزون وارتفاع موقع المخزون، وثيقة الصلة بالاحتياج إلى المياه وتغيراته خلال اليوم في أجزاء مختلفة من النظام. وعادةً يكون تجهيز وحدات تخزين صغيرة موجودة في مواقع مختلفة بالماء أكثر ملائمةً من وجود سعة مكافئة في موقع مركزيّ. ويتطلب الأمر في هذه الحال أنابيب توزيع أصغر لتخديم التخزين اللامركزيّ، ويمكن توطيد ضغوط مياه أكثر تجانساً عبر كامل النظام. وفي خدمة التشغيل العادية، يجب استخدام بعض مياه المخزون من أجل ضمان دوران الماء، كما إنه ينبغي عدم استهلاك الماء المخصصة لمكافحة الحرائق في أثناء سحب أيام الذروة.

يتم تخزين انسياب مياه الحرائق ضمن نظام التوزيع في خزّانات مرتفعة أو على مستوى الأرض مع مضخات خدمة عالية الأداء. تُحسب سعة المخزون لمكافحة الحرائق بناءً على الانسياب المطلوب لمياه الحرائق ولمدته. توفر خزّانات مياه مرتفعة ذات أحجام ملائمة، الحجم المخصص لمكافحة الحرائق تحت ضغط النظام. تُمدّ التجهيزات المحلية بالماء من الخزان المرتفع 10 ft إلى 15 إلى شبكة الأنابيب. ومع هبوط منسوب الماء في الخزان إلى ما دون الاحتياج العادي، يقوم مستشعر ضغط أوتوماتيكي بتشغيل محطات خدمة عالية الأداء إضافية بحيث يتمّ الاحتفاظ باحتياطي قدره 70-75% من الماء مكرساً كمخزون مياه للحرائق. وللمحافظة على انسيابٍ ملائم لمياه الحرائق، ينبغي أن يكون لمياه التخزين الأرضي المزودة بالمضخات الخصائص الآتية: سعة ضخ مرتفعة للتزويد باحتياج الذروة للاستخدامات المحلية ولاحتياج مياه الحرائق، ومصدر طاقة احتياطي بديل لهذه المضخات متوفّر في سائر الأيام، وشبكة أنابيب توزيع ذات أحجامٍ أكبر من الحجم المطلوب للتعامل مع إمدادات الذروة المحلية وانسياب مياه الحرائق. يعرض المثال 3-6 التقنيات المعتادة لحساب كمية المخزون المطلوب لتجمّعٍ ما. وعادةً تكون السعة لتحقيق التوازن بين الاحتياج والإمداد لدى معدّل ضخ ثابت، بين 15 و20% من قيمة الاستهلاك اليومي.

مثال 6-3

احسب مخزون التوزيع المطلوب لمعادلة الاحتياج المائي إضافة إلى احتياطي مياه الحرائق اعتماداً على المعلومات الآتية: الاحتياجات الساعية ليوم ذي استهلاك أقصى (Day of Maximum Water Consumption) للمياه مدرجة في الجدول 6-5. الاستهلاك الساعي (Hourly Consumption) مقدراً بـ gpm، وبعدد الغالونات المستهلكة كل ساعة في اليوم، وبالاستهلاك المتراكم (Cumulative Consumption) بدءاً من الساعة الثانية عشرة منتصف الليل. تبلغ احتياجات انسياب مياه الحرائق (Fire Flow Requirements) 6000 gpm لمدة 6 ساعات لضاحيةٍ راقية، و gpm 2000 من المخزون.

الحل

الشكل 6-13 هو مخطط لمعدّل الاستهلاك مع الزمن لبيانات مستمدة من الجدول 6-5. وعندما يكون معدّل الاستهلاك أقل من معدّل الضخ البالغ 1860 gpm يكون الخزان في حالة تعبئة. وعندما يكون أكثر من 1860 gpm يكون الخزان في حالة تفريغ. والمنطقة الواقعة تحت منحني التعبئة أو التفريغ (Emptying or Filling curve) هي حجم المخزون المطلوب للمعادلة بين الاحتياج لمتوسط معدّل الضخ في 24 ساعة والبالغ 1680 gpm.

ونظراً إلى صعوبة حساب المساحة في الشكل 6-13، يُستخدم عادةً مخطط كتلة وذلك لتقدير المخزون المحقّق للتعادل المشار إليه. بينما يمثّل الشكل 6-14 مخططاً للانسياب التراكميّ للمياه، ورسماً لقيم العمود 4 في الجدول 6-5 مقابل الزمن. إن الخط المستقيم الواصل بين نقطة المنشأ والنقطة الأخيرة لمنحني الكتلة هذا، هو الضخ التراكميّ الضروري لتلبية احتياج الاستهلاك، وميله هو معدّل الضخ الثابت على مدى 24 ساعة (Constant 24-hour Pumping Rate) . ولمعرفة سعة المخزون المطلوب قم بإنشاء خطين موازيين لمعدّل الضخ التراكميّ بمسّان

منحني الكتلة في نقطتي الاستهلاك الأعلى والأخفض. ستكون المسافة الشاقوليّة بين هذين الخطين المتوازيين هي سعة الخزان المطلوبة، وهي في هذه الحالة 500,000 غالون.

ولكن في بعض الأحوال ليس من المفيد ضخ الماء في نظام التوزيع على امتداد الليل والنهار، فمثلاً لتجمّعٍ سكاني ما، قد تقتصر عمليات تشغيل محطة المعالجة على ساعات النهار، أو على الفترات البعيدة عن ساعات الذروة عندما تكون معدّلات الطاقة منخفضة. افترض في هذه الحالة أن أخفض معدّلات الطاقة ستكون خلال فترة 8 ساعات تمتد من الساعة 12 ليلاً والساعة 8 صباحاً. والإجراءات البيانية لتقدير متطلبات المخزون باستخدام فترة الـــ 8 ساعات هذه ممثلة بالشكل 6-14 باستخدام الخطوط المتقطعة. وعلى الاستهلاك التراكميّ الأقصى خلال اليوم، تم رسم خط الضخ التراكميّ اعتباراً من نقطة المنشأ حيث الانسياب يساوي صفراً والزمن هو الساعة 12 ليلاً، إلى نهاية فترة الضخ في الساعة الثامنة صباحاً، وبالتالي سيكون التخزين المطلوب مساوٍ للمسافة الشاقوليّة عند الساعة الثامنة صباحاً بين خط الاحتياج التراكميّ والضخ اليومي الأقصى. (إذا أُخذ زمن بدء الضخ وتشغيل المضخة غير زمن الساعة 12 ليلاً، يتوجّب زلق البيانات في الجدول 6-5 إلى الوقت المختار، ويجب إعادة حساب الاستهلاك التراكميّ ، كما يجب إعادة رسم الشكل 6-14 بحيث تكون نقطة المنشأ عند زمن بدء الضخ الجديد).

إن المخزون المطلوب لتأمين كامل احتياطي مياه الحرائق مساوٍ لمعدّل الانسياب مضروباً لمدة:

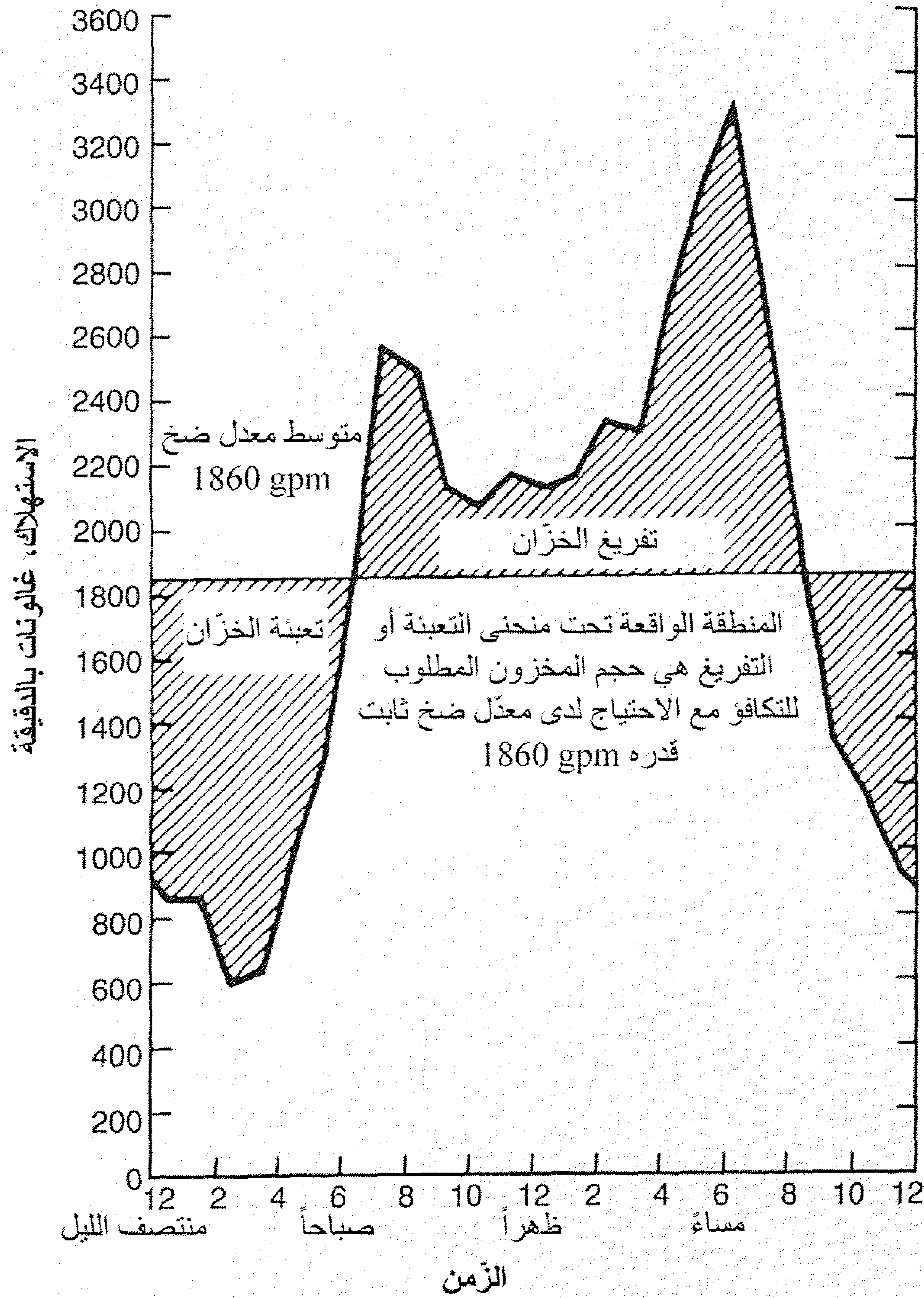
$$2000\ \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 60\ \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 6\ \text{hr} = 720000\ \text{gal}$$

وبالتالي فإن سعة المخزون الكلية المطلوبة المساوية لاحتياج معدّل ضخ لـــ 24 ساعة مستمرة إضافة إلى الوقاية من الحرائق ستكون:

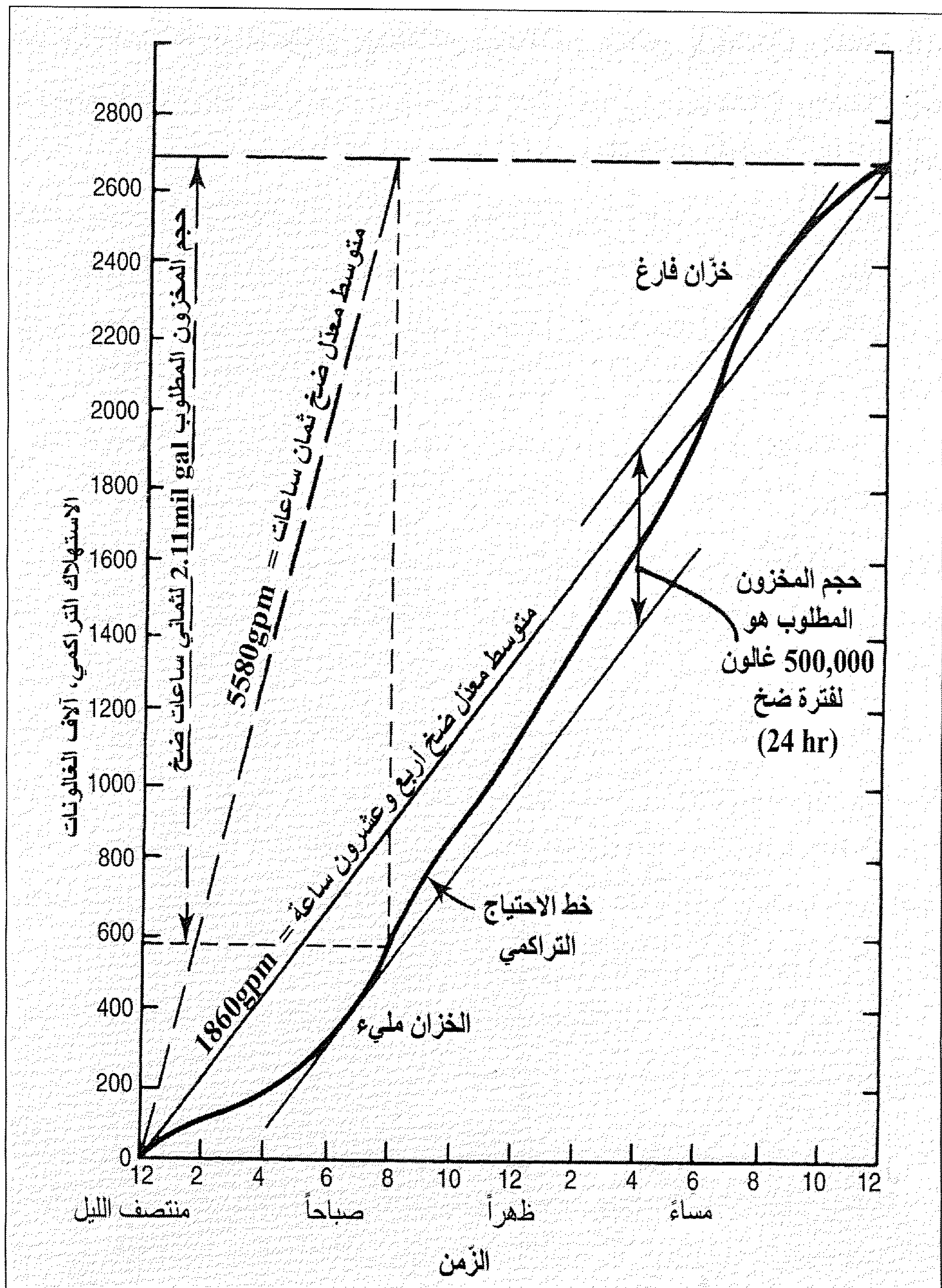
$$0.5 + 0.72 = 1.22\ \text{mil gal}$$

وستكون سعة المخزون الكلية المطلوبة لفترة ضخ 8 ساعات إضافة إلى احتياطي الحرائق

2.11 + 0.72 = 2.83 mil gal



شكل 6-13: مخطط بياني لمعدلات استهلاك الماء الساعي لبيانات الجدول 6-5 للمثال 6-3، لتقدير المخزون المطلوب والمكافئ للاحتياج المائي لدى معدّلات ضخ ثابتة



شكل 6-14: مخطط بياني لاستهلاك الماء، من بيانات الجدول 6-5 والمثال 6-3، لتقدير المخزون المطلوب والمكافئ للاحتياج المائي لدى معدّلات ضخ ثابتة

جدول 6-5: بيانات استهلاك الذروة في يوم استعمال أعظمي للمياه للمثال 6-3

الزمن	الاستهلاك في ساعة		الاستهلاك التراكمي
	gpm	gal	gal
12 منتصف الليل	0	0	0
1 قبل الظهر	866	52000	52000
2	866	52000	104000
3	600	36000	140000
4	634	38000	178000
5	1000	60000	238000
6	1330	80000	318000
7	1830	110000	428000
8	2570	154000	582000
9	2500	150000	732000
10	2140	128000	860000
11	2080	125000	985000
12	2170	130000	1115000
1 بعد الظهر	2130	128000	1243000
2	2170	130000	1373000
3	2330	140000	1513000
4	2300	138000	1651000
5	2740	164000	1815000
6	3070	184000	1999000
7	3330	200000	2199000
8	2670	160000	2359000

9	2000	120000	2479000
10	1330	80000	2559000
11	1170	70000	2629000
12	933	56000	2685000
المتوسط	1860 =		

مثال 4-6

ادرس نظام تجهيز بالماء لمدينة ذات خصائص الاحتياج المائي الآتية: معدّل الاحتياج اليومي 4.0 mgpd (2780 gpm)، يوم الاستهلاك الأقصى 6.0 mgpd (4170 gpm)، ساعة الذروة 9.0 mgpd (6250 gpm)، والانسياب المطلوب لمياه الحرائق 7.2 mgpd (5000 gpm)، ما ينتج منه معدّل أعظمي لأعلى 5 ساعات قدره 13.2 mgpd (9170 gpm) مكوّن من الاحتياج اليومي الأقصى إضافة إلى انسياب مياه الحرائق.

افترض إن الضغط الأصغري الذي يجب المحافظة عليه في الضاحية الرئيسة هو 50 Psi (115 ft) باستثناء فترة انسياب مياه الحرائق، وأن نظام شبكة الأنابيب مكافئ لـــ .24 in قطر الأنبوب الرئيس مع C = 100. ادرس وضع النظام بدون وجود مخزون، وادرس وضع النظام أيضاً بمخزون يقع خلف مركز التحميل.

الحل

تأثير عدم وجود مخزون:

ينبغي أن يكون علوّ طرح محطة الضخ لدى كل معدّل احتياج، كافياً لتجاوز فقودات النظام وللمحافظة على تدرّجٍ هيدروليكيّ ذي حد أدنى قدره 115 ft علوّ لدى مركز التحميل. وبذلك فإن علوّ الضخ المطلوب لدى معدّل الاحتياج اليومي

سيكون 115 ft إضافة إلى فقد الضغط في 29000 ft لأنبوبٍ قطره 24 in. عند 4.0 gpm (باستخدام الشكل 4-7 لفقد العلوّ):

$$115 + (0.9 \times 29) = 140 \text{ ft}$$

ولدى المعدّل اليوميّ الأقصى (6.0 mgd):

$$115 + (1.9 \times 29) = 170 \text{ ft}$$

ولدى ذروة الاحتياج الساعي (9.0 mgd):

$$115 + (4 \times 29) = 146 \text{ ft}$$

ولدى المعدّل اليوميّ الأقصى إضافة إلى انسياب مياه الحرائق (13.2 mgd):

$$115 + (8.2 \text{ x } 29) = 350 \text{ ft}$$

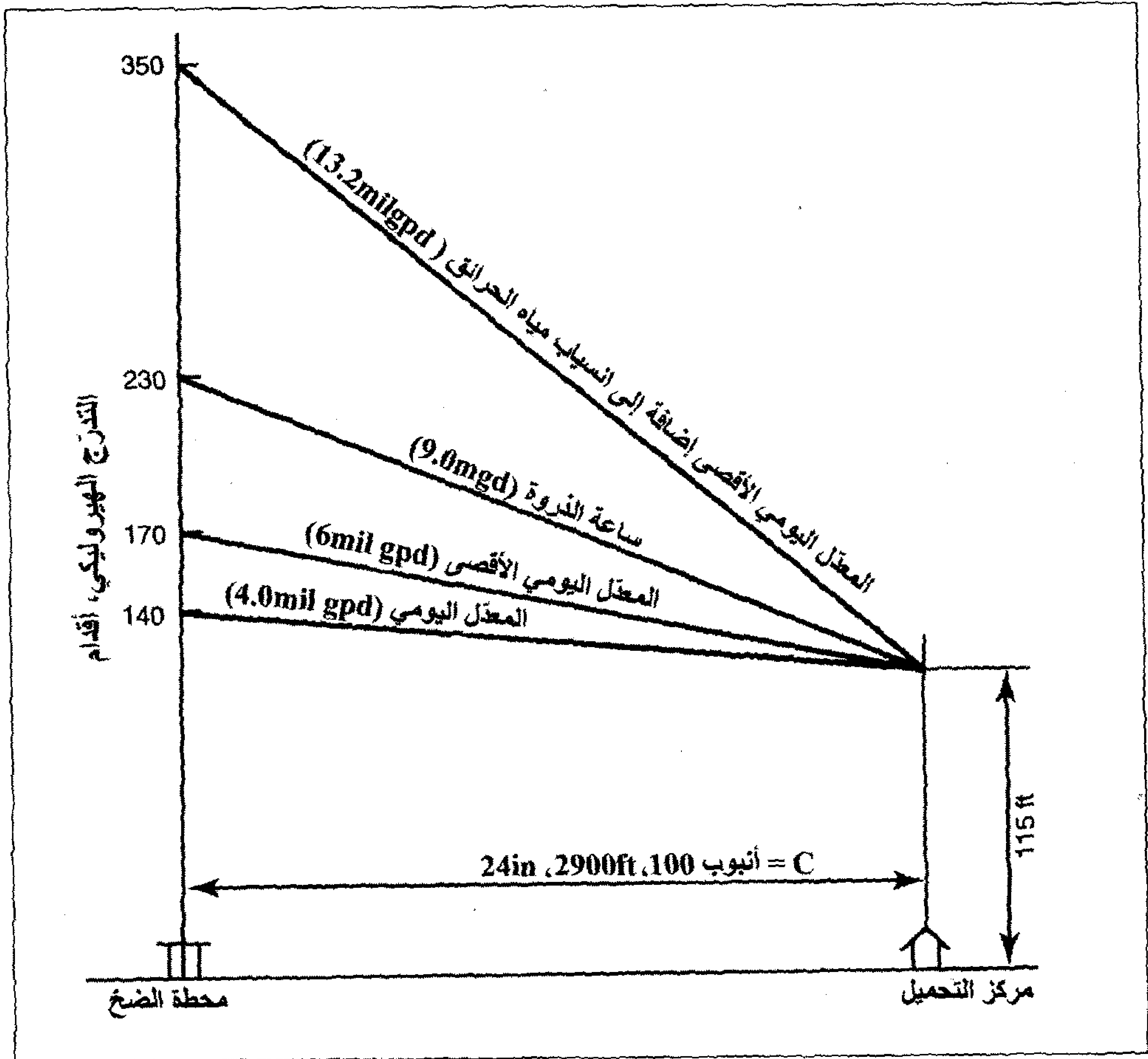
ولقد رُسمَت هذه النتائج في الشكل 6-15

بمخزونٍ يتجاوز مركز التحميل:

في الترتيبات الموضحة في الشكل 6-16، تمّ تأمين 1 mil gal من المخزون من مكان يبعد 10000 ft عن مركز التحميل، 39000 ft عن مركز الضخ وعلى ارتفاع 120 ft. وعندما لا تُؤخذ أيّ مياه من المخزون، فإن علوّ الضخ ينبغي أن يكون كافياً ليُضخ باتجاه معاكس للعلوّ، ليصل إلى الخزان وكذلك ليتجاوز الفقودات بين محطة الضخ ومركز التحميل. وعندما يتمّ التجهيز بجزء من الاحتياج من المخزون، فإنه ينبغي لعلوّ الضخ أن يكون كافياً فقط للطرح الناتج من العلوّ السائد لدى مركز التحميل وليتجاوز الفقودات في خط الأنابيب بين محطة الضخ ومركز التحميل.

ولدى معدّل الاحتياج اليومي، يصبح معدّل الضخ المطلوب 4.0 mgd وذلك من دون أخذ أيّ مياه من المخزون، وعلى ذلك سيكون التدرّج الهيدروليكيّ في مركز التحميل مطابقاً لنظيره عند الخزان، وبالتحديد سيكون 120 ft. وسيكون علوّ الضخ المطلوب مساوياً للتدرج الهيدروليكيّ في مركز التحميل إضافة إلى فقد العلوّ فى خط الأنابيب البالغ طوله 29000 ft.

$$120 + (0.9 \times 29) = 146 \text{ ft}$$



شكل 6-15: تدرجات هيدروليكيّة من دون مخزون من المثال 6-4

ولدى يوم استهلاك أقصى سيكون معدّل الضخ المطلوب 6.0 mgpd وذلك من دون أخذ أيّ مياه من المخزون، وعلى ذلك سيكون علوّ الضخ المطلوب مساوياً للتدرج الهيدروليكيّ في مركز التحميل إضافة إلى فقد العلوّ في خط الأنابيب البالغ طوله 29000 ft.

$$120 + (1.9 \times 29) = 176 \text{ ft}$$

لاحظ أن تجهيزاً بـ 3.0 mgd لدى ذروة الاحتياج الساعي سيأتي من المخزون و6mgpd0. سيأتي عبر الضخ، والتدرّج الهيدروليكيّ في مركز التحميل

هو ذاك التدرّج الهيدروليكيّ عند الخزان مطروحاً منه فقد العلوّ في 10,000 قد في الأنبوب الواقع بين الخزان ومركز التحميل لدى معدّل طرح قدره 3.0

$$120 - (0.5 \times 10) = 115 \text{ ft}$$

وسيكون بالتالي علوّ الضخ

$$115 + (1.9 \times 29) = 171 \text{ ft}$$

الاحتياج اليومي الأقصى إضافة إلى انسياب مياه الحرائق:

إذا تمّ ضخ المليون غالون من مخزون الماء بمعدل متجانس للتجهيز بالماء خلال فترة الحرائق ولمدة 5 ساعات، فسيكون الانسياب 3330 gpm (6.0 mil gal) بعلوّ هيدروليكيّ عند مركز التحميل قدره

$$120 + (1.2 \times 10) = 108 \text{ ft}$$

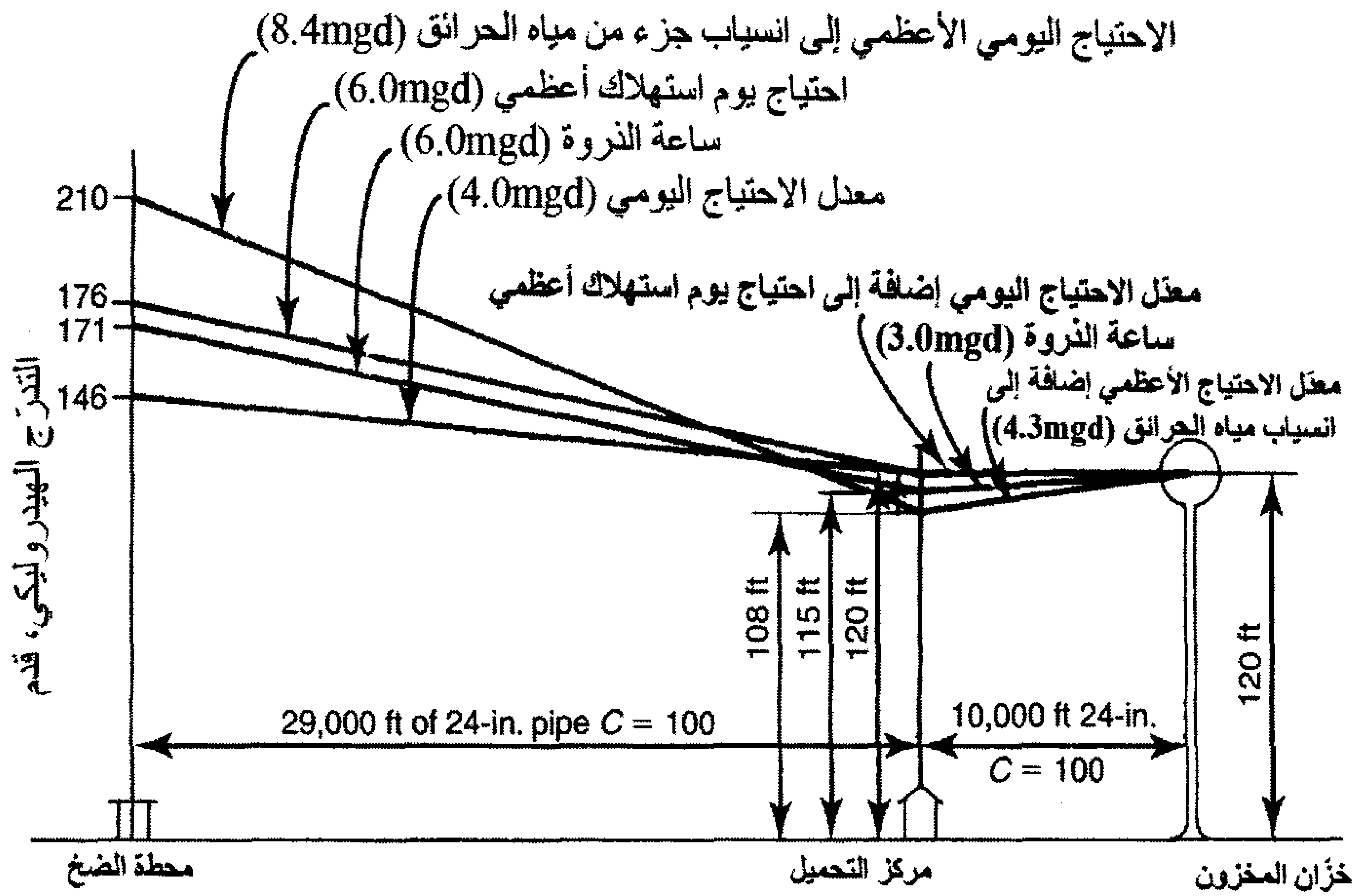
وسيكون معدّل الضخ المطلوب هو 13.2 −4.8 = 8.4 mgd وسيكون علوّ الضخ المطلوب

$$108 + (3.5 \times 29) = 210 \text{ ft}$$

وبهذا التحليل، سيقدّم مخزون المليون غالون تجهيزاً قدره 35% من انسياب مياه الحرائق، بينما ستقوم محطة الضخ بتقديم الباقي. وهذا في الحقيقة أمر واقعي، حيث إن نصف المخزون تقريباً مخصص للتعديل والموازنة بين التجهيز والاحتياج. وبالأخذ بالاعتبار أن 500000 gal مخصصة لاحتياج مياه الحرائق، فإن العلوّ لدى مركز التحميل سيكون 116 ft وسيزداد علوّ الضخ إلى 275 ft.

إن مقارنة الشكلين 6-15 و6-16 تظهر فوائد توزيع المخزون. فإن لم يتمّ تقديم أيّ مخزون، فإن الأمر سيتطلب علوّ ضخ أكبر بكثير لتلبية احتياجات الذروة. يبلغ معدّل الضخ لدى الاحتياج اليومي الأقصى إضافة إلى انسياب مياه الحرائق أكثر من ضعفي الطاقة المطلوبة. وهذا ينطبق أيضاً عند ضخ ساعة الذروة: من دون تخزين، 9.0 mgd لدى علوّ 230 ft مقارنةً بـــ 6.0 mgd لدى علوّ 171 ft. في

أثناء معدّل الاحتياج اليومي، وفي أثناء معدّل احتياج الاستهلاك الأقصى يكون علوّ الضغط في كلا الحالين نفسه تقريباً.



شكل 6-16: تدرجات هيدروليكيّ مع مخزون مرتفع خلف مركز التحميل للمثال 6-4

6-8 الصمامات

تُركب الصمامات (Valves) عبر كامل أنظمة الماء في محطات المعالجة، ومحطات الضخ، وشبكات الأنابيب وكذلك في خزّانات المخزون. والهدف منها التحكّم بمقدار وباتجاه انسياب التيار. ولتنظيم التيار، تحوي كل الصمامات جزءاً متحرّكاً يمتدّ داخل خط الأنابيب لفتح أو لإغلاق الممر الداخلي. إن الأنماط الأربعة الرئيسة للصمامات هي الانزلاقي (Slide Valve)، والدوراني (Rotary Valve)، والكوكبي (Globe Valve)، والهزاز (Swing Valve)، وهناك أنواع أقلّ شيوعاً هي الكروي (Sphere Valve)، والحاجبي (Diaphragm Valve)، والكُمِّي (Sleeve Valve) والقرصي ذو الرفع الشاقولي (Vertical-Lift Disk Valve). وتصنّف أيضاً

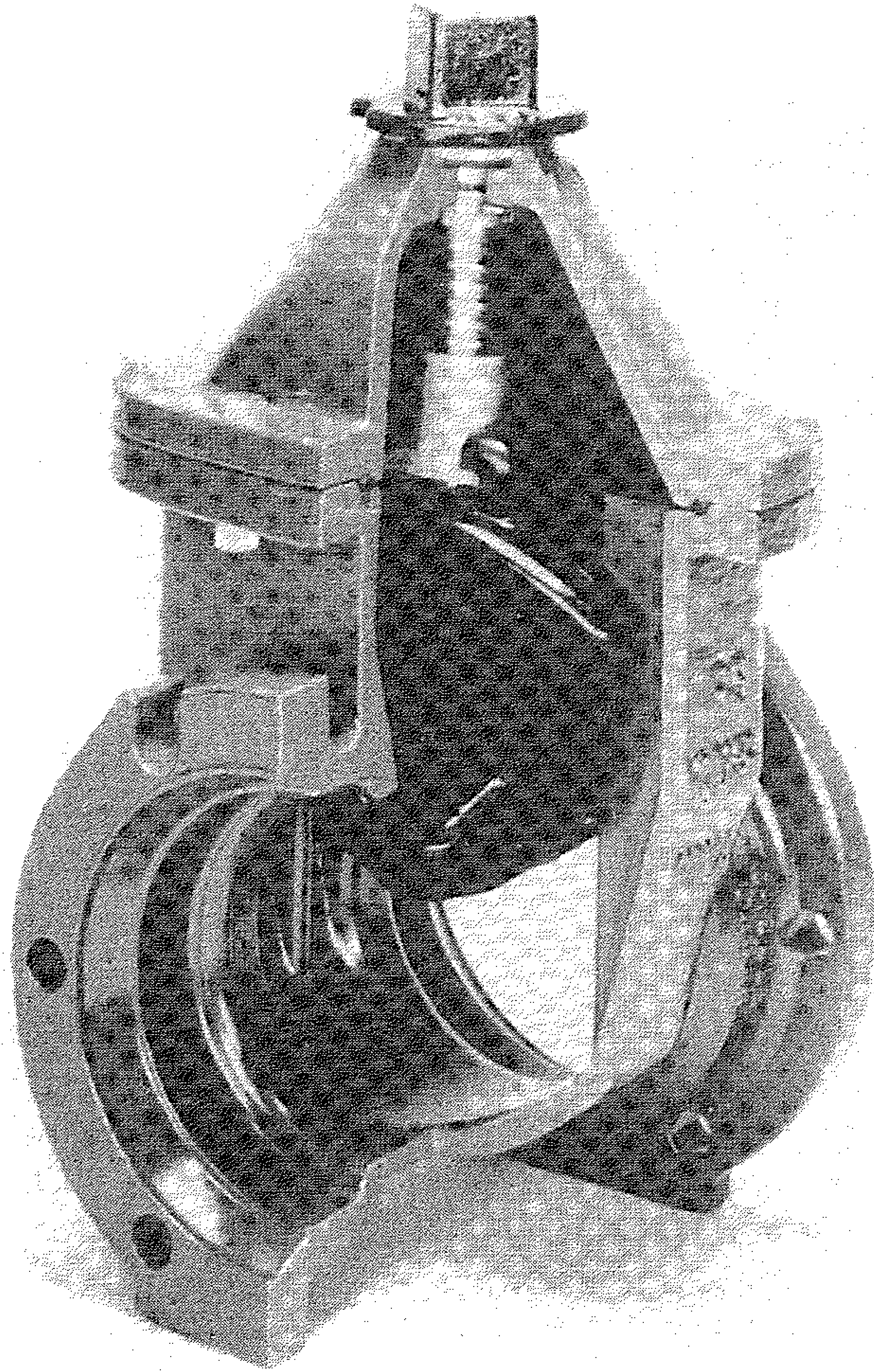
الصمامات عادةً بناء على الغرض من تشغيلها (مثل صمامات توقّف (Shutoff Valve) وصمامات ارتفاع (Altitude Valve)، وعلى دورها أو وظيفتها (صمام ممر جانبي (By-Pass) Valve)، وصمامات التحكّم بالانسياب (Flow Valve) Control) بغض النظر عن الأداة المُستخدمة. وحيث إن الغرض الأساسيّ من هذه المناقشة هو وصف استخدام الصمامات في أنظمة الماء، فإن طريقة العرض ستكـــون اعتماداً على دورهـــا أو وظيفتها مع مخططات إيضاحيّة تظهر نمـــط الصمامات الأكثر استخداماً. وقد تُستخدم أنماط أو أنواع أخرى للدور أو الغرض نفسه.

إن وسائل تشغيل العنصر المتحرّك في الصمام هي اللولب (Screw)، والتروس (Gears) أو ضغط الماء (Water Pressure). وعمود اللولب شائع الاستخدام في صمامات البوابة (Gate Valve) والصمامات الكوكبية (Valve Globe) والصمامات الإبرية (Needle Valve)، ويمكن فتحها وإغلاقها يدوياً إما بواسطة حلقة بحجم اليد، أو آلياً. وفي بعض التصميمات يرتفع عمود اللولب عند إغلاق عنصر التوقف (Shutoff Element)، وفي بعض آخر يدفع العمود المذكور بدورانه، بدون أن يرتفع، اللولب داخل جسم الصمام، وهذا النوع أكثر شيوعاً. وفي الصمامات الكبيرة حيث يمنع ضغط الماء استخدام اللولب، يمكن توظيف سلسلة مسننات (Gear Train) للسماح لعنصر التوقف بالتحرك ببطءٍ عبر تطبيق أقلّ عزمٍ على العمود. يمكن أن يُدار نظام المسننات يدوياً أو بمشغل آليّ كهربائيّ أو هيدروليكيّ أو غازيّ. تتضمن الصمامات التي يمكن تجهيزها بمشغّل مسننات (Geared Operator)، صمامات الفراشة (Butterfly)، وصمامات البوابة والصمامات الكرويّة والصمامات الكوكبية. يمكن لضغط الماء أن يفتح أو يغلق بعض أنواع الصمامات عبر ضغطٍ مباشر على العنصر المتحرّك. وأبسط الصمامات هي صمامات البوابة الهزّاز المتمفصل (Hinged Swing Gate) والذي

يفتح تحت تأثير زيادة ضغط الماء ويغلق بتأثير الثقالة أو بتراجع ضغط الماء. وهناك مثال آخر هو الصمام الكوكبي الأوتوماتيكي (Automatic Globe Valve) والذي يتمتّع بتصميم لجسم الصمام يمكنه التحكّم بحركة عنصر التوقف من خلال ضغط مياه النظام.

صمامات التوقف

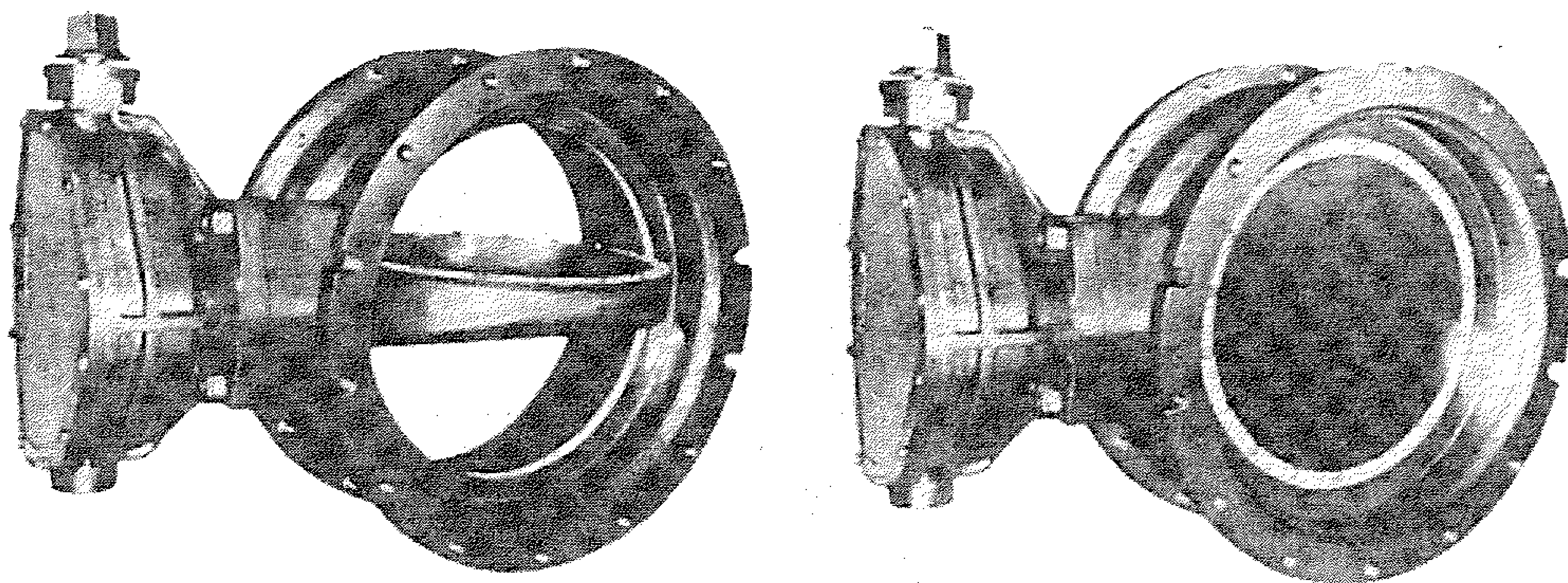
إن الصمامات التي توقّف انسياب الماء عبر خط الأنابيب هي الصمامات الأكثر وفرة في أنظمة الماء. ويتم تقسيم شبكة الأنابيب عبر صمامات توقّف (Shutoff Valves)، بحيث يمكن عزل أيّ منطقة تأثرت بعطل رئيس أو بإصلاح للأنابيب بالحد الأدنى من تراجع الخدمة أو الوقاية من الحرائق. تتراوح التباعدات بين .500 in و.1200 in (370-150 m) وذلك تبعاً للحيّ ضمن مدينة ما، ولحجم الأنابيب الرئيسة. ونموذجياً يتمثّل الحد الأدنى بوضع صمام لكل ثلاثة إلى أربعة أنابيب موصولة بنقطة التقاء، ويكون للأنبوب الرئيس الشريانيّ صمام توقّف كل .1200 in. ويزوّد الأنبوب الواصل بين فوهة حريق وخط توزيع رئيس بصمام لتأمين إمكانية تصليح فوهة الحرائق. وفي محطات المعالجة ومحطات الضخ، توضع صمامات عند مدخل ومخرج الخطوط الرئيسة وخطوط الممرات الجانبية، الأمر الذي يمكِّن من فكّ الصمامات والمضخات للقيام بإجراءات الصيانة والإصلاح. والصمامات الحاجزية هي صمامات إيقاف معتادة ولكن في الأنابيب كبيرة الحجم تُستخدم أحياناً بدلاً عنها صمامات فراشة دورانية. ولصمام البوابة حاجز انزلاقي صلب يتحرك بزاويةٍ معامدة لاتجاه تيار الماء بعمود يتحرك بواسطة لولب. وعند تركيب الصمام على خط أنابيب يتمّ سحب البوابة إلى داخل الحجيرة عبر عمود لا يرتفع.



شكل 6-17: صمام بوابة مثبتٍ بشكلٍ مرن، تُوجّه فيه البوابة المغلفة بالمطاط للمحافظة على الاستقامة بحيث تنضغط سطوح مطاط الإغلاق بإحكامٍ عند إغلاق البوابة

يتمّ إنزال البوابة إلى أن ينطبق على جدران القاع بشكل محكم لمنع التيار من المرور. وفي الصمامات الحديثة الموضحة في الشكل 6-17، تُغلّف البوابة بالمطاط، بينما يغلف تجويف جسم الصمام بالإيبوكسي، ينطبق نتوءا التوجيه ضمن شقّين موجودين على جانبي الصمام للمحافظة على استقامتهما بحيث تنضغط سطوح مطاط الإغلاق بإحكامٍ عند إغلاق البوابة لمنع تسرب الماء. والصمامات القديمة التي مازالت تُستخدم إلى الآن هي صمامات ذات قرصٍ مزدوج وقاعدة موازية

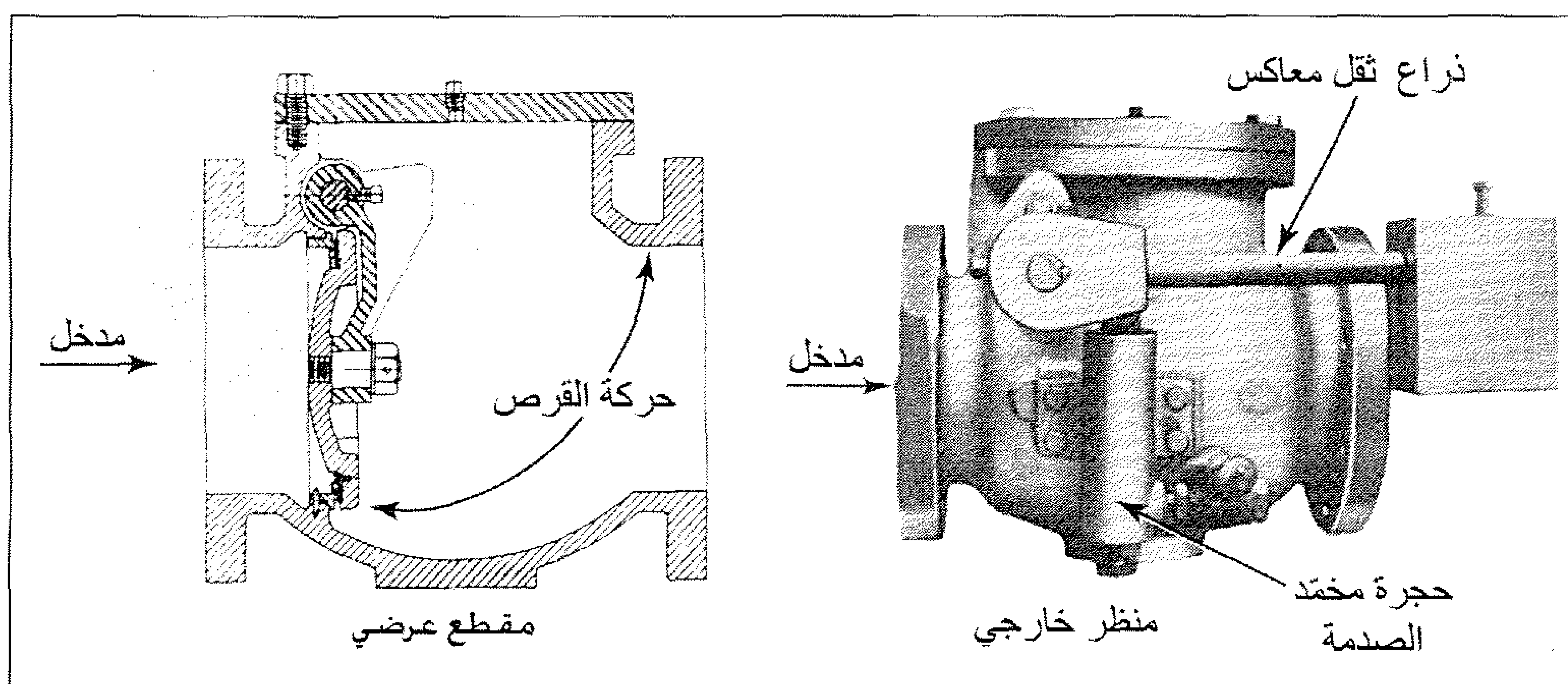
مصنوعة من حديدٍ صب، وهي تعاني التآكل وتشكّل قشرةٍ خارجية عليها. تزود عادةً الصمامات تحت الأرض بصناديق تحويها وتصل إلى سطح الأرض، وتُفتح هذه الصمامات وتُغلق بواسطة قضيب تطويلٍ يمكنه الوصول إلى المكان الضيق الموجود فيه الصمام ومن ثم تدوير الصامولة الموجودة على ظهر عمود الصمام. يمكن تركيب صمامات البوابة أكبر في الأنفاق أو الفتحات للتمكن من التشغيل والصيانة، ويمكن تزويدها بصمامات ممرات جانبية صغيرة لتخفيف فروقات الضغط لدى الفتح والإغلاق، وغالباً ما يكون للتروس نتوءات مشذبة للإقلال من القوة المطلوبة للتشغيل.



شكل 6-18: منظران لصمام الفراشة في وضعيتي الفتح والإغلاق

ولصمام الفراشة (الشكل 6-18) قرص متحرّك قابل للدوران حول ذراع أو محور موجود في التجويف. يدور القرص الدائري باتجاه واحد فقط، من كامل الإغلاق إلى كامل الفتح، ويستقر على حلقة ضمن التجويف. إن الميزات الرئيسة لصمام الفراشة ناتجة من كون القرص موجوداً دائماً في مجرى التيار ما يقلّل من استخدام أدوات تنظيف الأنبوب. ومن ناحيةٍ أخرى يتمتّع هذا الصمام بميزات الإيقاف المحكم، وفقدٍ قليل للعلوّ، وإمكانيات الخنق (Throttling Capabilities). إن هذه الأخيرة إحدى أكثر التطبيقات لصمامات الفراشة شيوعاً فمثلاً يستخدم في التحكّم بمعدل الانسياب لتنظيم معدّل التصريف من مرشحات الثقالة في محطة

معالجة. لقد انتشر مؤخراً استخدام صمامات الفراشة كبيرة الأحجام غالباً والمثبّتة على المطاط في أنظمة التوزيع. ونظراً إلى أن تباينات الضغط عبر قرص صمام الفراشة يميل إلى إغلاق الصمام، يجب وضع مشغل آليّ للتغلّب على عزم التدوير في أثناء فتح الصمام، وليقاوم هذه القوة في أثناء الإغلاق تجنباً للإغلاق العنيف. وفي تطبيقات محطات المعالجة، يكون المشغّل عادةً مجموعة مركبّة من أسطوانة هيدروليكيّة وقضيب مكبس تُستخدم للمحافظة على قرص الصمام في أيّ وضعية بينية وكذلك لإغلاق وفتح الصمام. ويمكن أن تدار مشغلات الصمامات الكبيرة بمحرك.



شكل 6-19: صمام قطع هزاز موازن، مزوّد بحجرة مخمّد الصدمة لمنع الإغلاق العنيف (موافقة من GA Industries Inc)

صمامات القطع

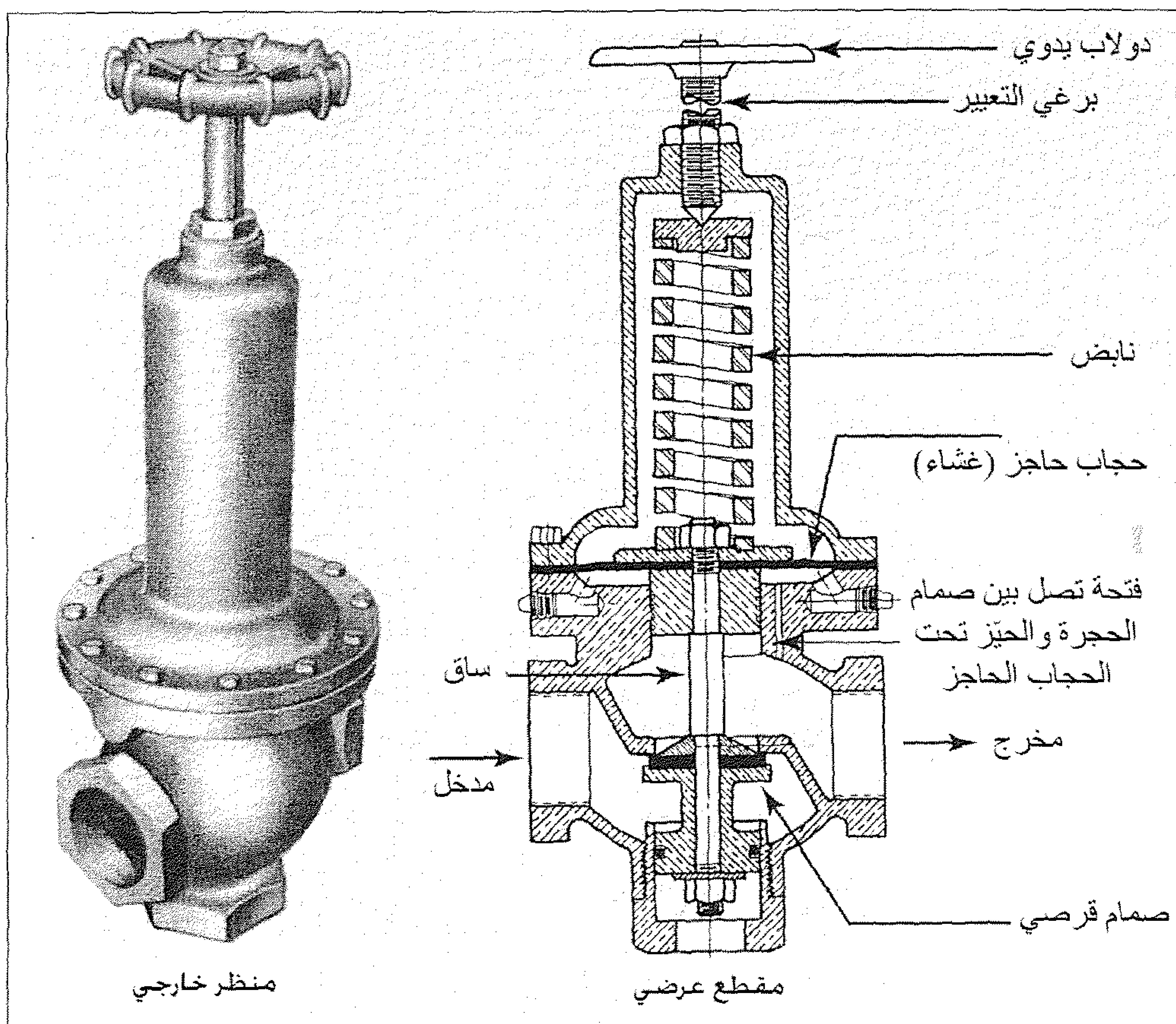
صمام القطع (Check Valve) أداة نصف أوتوماتيكيّة تسمح للمياه بالانسياب باتجاه واحد فقط. يُفتح الصمام تحت تأثير الضغط ويُغلق أوتوماتيكياً عندما يتوقف الانسياب. ويُركّب عادةً في أنابيب طرح مضخة نابذة وذلك لمنع ارتداد التيار عندما لا تكون المضخة قيد العمل، وكذلك عند الالتقاء مع صمامات الارتفاع في الوصلات بين خزّانات المخزون وشبكة أنابيب التوزيع.

إن الترتيبين الأساسيّين لصمامات القطع في تطبيقات أنظمة الماء هما قاطع الرفع (Lift Check) وقاطع الاهتزاز (Swing Check). يحوي قاطع الاهتزاز على قرص مسطح يتحرك شاقولياً ضمن جسم الصمام، حيث يُفتح بتيارٍ شاقولي ويُغلق بفعل الثقالة أو بتأثير نابض عند توقّف التيار.

إن أكثر قواطع الاهتزاز شيوعاً هو ذاك النمط الظاهر في الشكل 6-19 حيث يصنع القرص المغلق زاويةً قائمةً مع اتجاه انسياب الماء، وبرفع القرص يتمّ الإمداد بأقصى انسياب. ويتم الإغلاق إما بالثقالة أو بمساعدة ذراع ثقل معاكس متصل بالقرص. ولإغلاق محكم يتمّ تصنيع قاطع الاهتزاز بحيث ينطبق بإحكام على قاعدة مطاطية أو معدنية. إن وظيفة حجرة مخمّد الصدمة والوزن المضاد هو منع الإغلاق العنيف.

صمامات تخفيف الضغط والصمامات الموجهة الصغيرة

إن وظيفة صمامات تخفيف الضغط والصمامات الموجهة (Small Pressure-Reducing and Pilot Valves) هي تخفيف الضغط الداخل إلى ضغط خارج أقلّ محدد مسبقاً. إن تطبيقات صمامات تخفيف الضغط الصغيرة والتي تصنع بقياسات تتراوح بين 0.5 in. و2 in.، تتمثّل بحماية شبكة التمديدات المنزلية من الضغوط الزائدة، بينما تتحكّم الصمامات الموجّهة بعمل الصمامات الأوتوماتيكيّة الكبيرة التي تعمل بتأثير الضغط. وعبر التحكّم بنابضٍ متغيرٍ يمكن تنظيم الانسياب عبر الصمام، مسبباً فقد علوٍّ، الأمر الذي ينتج منه فرق ضغطٍ بين المدخل والمخرج. في ما يتعلق بالشكل 6-20 فإن الحركة العمودية للعمود، التي تمّ تقديرها مسبقاً من خلال موقع البوابة المثبت على القمة، تحدّد حجم الفتحة عبر الصمام.



شكل 6-20: صمام تخفيف الضغط، متوفّر بقياسات من .0.5 in إلى .2 in للاستخدام في توصيلات الخدمة شكل 6-6 ويستخدم كذلك كصمام موجه للتحكّم وضبط عمل الصمامات الأوتوماتيكيّة (شكل 6-22 وشكل 6-23) (موافقة من: GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div)

يميل ضغط المخرج، والمنتقل عبر الفتحة التي تربط بين حجرة الصمام إلى الفراغ الواقع تحت الحاجز، إلى إغلاق الصمام عبر تحريكه لقرص الصمام نحو الأعلى. تمارس قوة النابض الموجود فوق البوابة دفعاً نحو الأسفل في محاولة لفتح الصمام. فإن نقص الضغط عند طرف المخرج عن الحدّ المطلوب، فإن التغيّر سوف ينتقل إلى البوابة وسوف يجبر النابض قرص الصمام على التحرك نحو الأسفل إلى موقعٍ أكثر انفتاحاً سامحاً بالتالي بانسياب أكبر وضغط مياهٍ أعلى عبر الصمام. وبالعكس، إن زاد الضغط عند المخرج، فإن البوابة سوف تدفع العمود

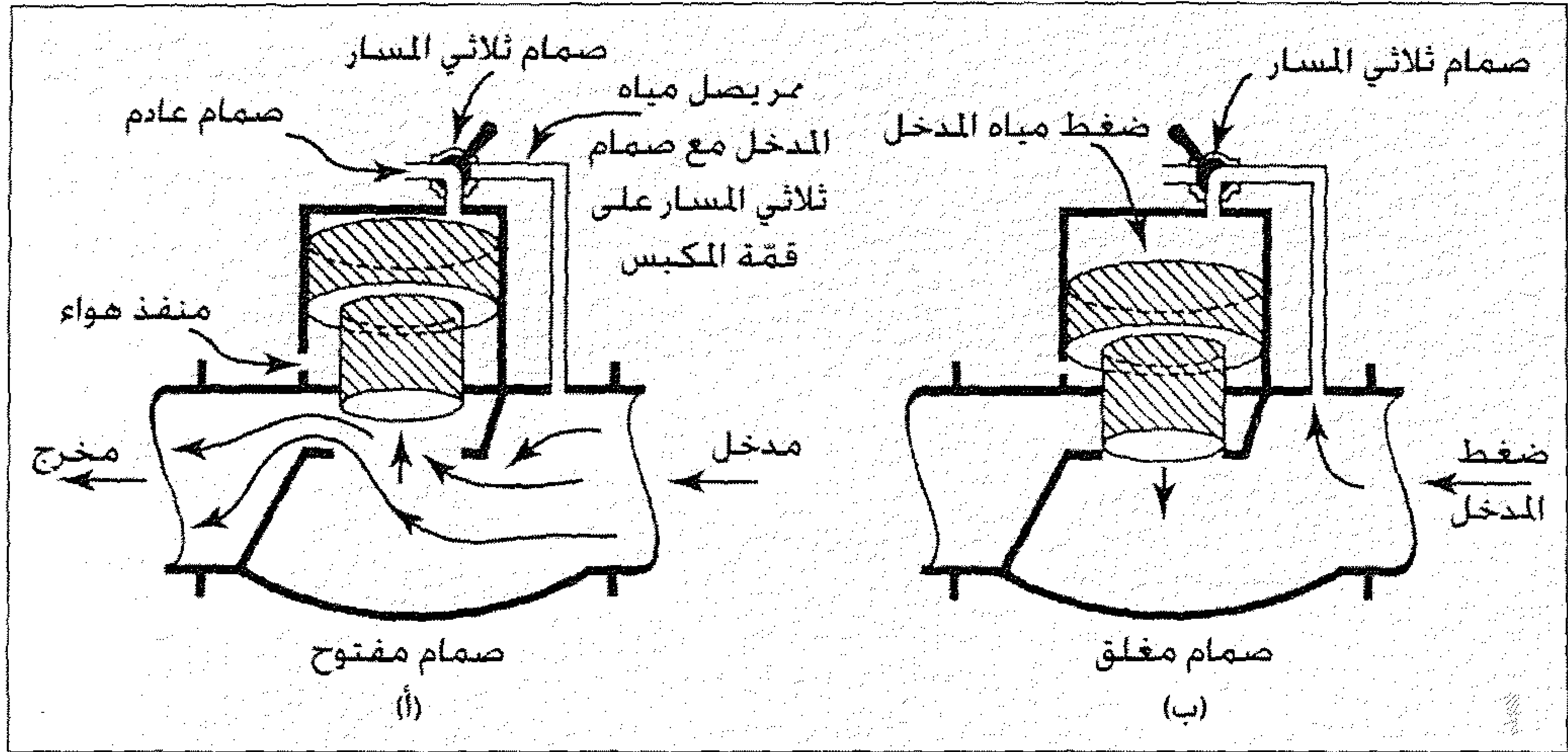
نحو الأعلى، مغلقاً بشكل جزئي الصمام مخفضاً بالتالي ضغط المخرج. وبتدوير حلقة الصمام اليدوية تتغير القوة الطبقة على البوابة بضبط ضغط المخرج.

صمامات التحكّم الأوتوماتيكيّة

يستخدم الصمام الأوتوماتيكي (Automatic Control Valves) ضغط الماء في النظام لتشغيل العنصر المتحرّك لفتح وإغلاق الصمام. ففي الصمامات الكبيرة، يقوم صمام خارجي موجه، أو حجاب محمل على نابض (Spring-Loaded Diaphragm Assembly)، بتوجيه ضغط الماء إلى الجانب المناسب ليستقر العنصر المتحرّك في جسم الصمام. وأدوات الاستشعار التي تعطي إشارات عن تشغيل الصمام قد تكون هيدروليكيّة، أو كهربائيّة، أو غازيّة أو لولبيّة.

ومن بين التطبيقات الكثيرة للصمامات الأوتوماتيكيّة، الوحدات الشائعة في الأنظمة المائية كصمامات تخفيف الضغط (Pressure-Reducing Valves)، وصمامات الارتفاع (Altitude Valves)، وتخفيف الجيشان (Surge Relief Valves)، وصمامات القطع المراقب (Controlled Check Valves) وصمامات التوقف (Shutoff Valves).

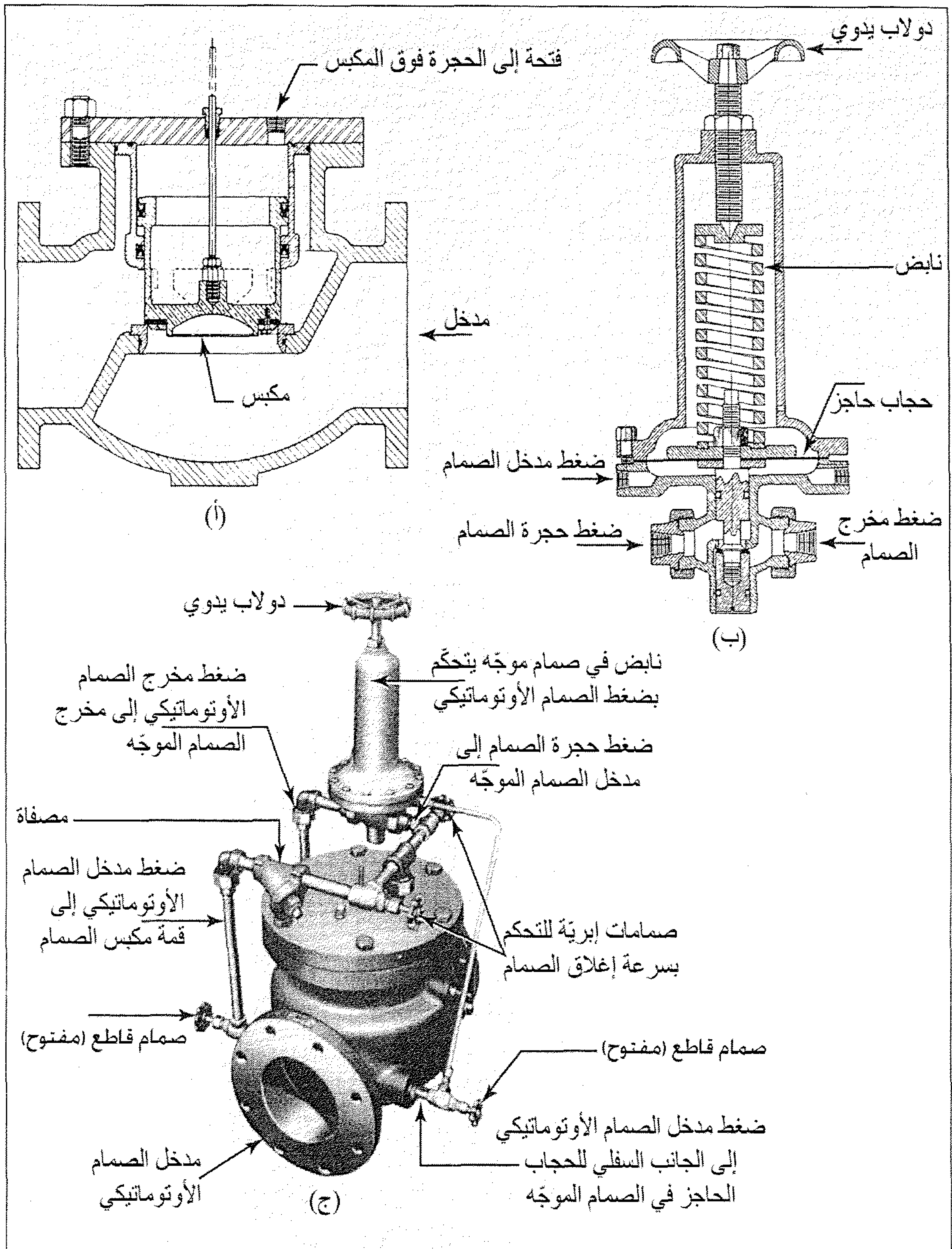
يظهر الشكل 6-21 مبدأ التشغيل لأحد أنماط الصمامات الكوكبية الأوتوماتيكيّة (Automatic Globe Valves). لقد تمت صياغة العنصر المتحرّك في الحجرة العلوية كمكبس (Piston) مساحة سطحه العلوي أكبر من مساحة سطحه السفلي. وعندما تكون الحجرة الواقعة فوق المكبس قد أُفرغت محتوياتها في الغلاف الجوي فسيبقى المكبس مفتوحاً بتأثير ضغط الماء الداخل إلى ضمن جسم الصمام (شكل 6-21أ).



شكل 6-21: مخطط يظهر تشغيل صمام كروي أوتوماتيكي. (أ) يتمَ المحافظة على الصمام مفتوحاً بواسطة ضغط مياه عند المدخل عندما تكون الحجرة فوق المكبس مفتوحة على الغلاف الجوي (ب) يتمَ المحافظة على الصمام مغلقاً بواسطة ضغط داخلي ممارساً قوة كبيرة على قمة المكبس (موافقة من: GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div.)

إن تغيير موضع الصمام ثلاثي المسار في الأعلى يغلق مفرغ الهواء من الحجرة فوق المكبس. إن القدر نفسه من الضغط الممارس على كل من قمة وقاعدة المكبس سيولّد قوةً أكبر تتجه نحو الأسفل، نظراً إلى أن مساحة الجزء العلوي للمكبس أكبر من مساحة جزءه السفلي. وعلى ذلك فإنه عندما يسمح للماء عند المدخل بالدخول إلى الحجرة العلوية فإن الصمام يغلق أوتوماتيكياً (شكل 6-21ب).

يمر الهواء المتحرّك الخارج من المكبس والداخل إليه من خلال فتحة صغيرة كي تخفّف من حركة المكبس وتمنع بالتالي حدوث مطرقة مائية (Water Hammer). إن الصمام ثلاثي المسار في الأعلى يتم التحكّم به عادةً من قبل صمام هيدروليكيّ أو بصمام لف لولبيّ موجه.



شكل 6-22: صمام تخفيف الضغط أوتوماتيكي. (أ) مقطع عرضي للصمام الأوتوماتيكي. (ب) مقطع عرضي للصمام الموجه. (ج) منظر خارجي لصمام تخفيف الضغط مع صمام موجه وشبكة أنابيب تحكّم ومراقبة (موافقة من: .GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div)

صمامات تخفيف الضغط

صمامات تخفيف الضغط (Pressure-Reducing Valves) صمامات أوتوماتيكيّة تعمل بواسطة موجهات للمحافظة على ضغط عند مخرج الصمام تمّ ضبطه مسبقاً مقابل ضغط أعلى عند مدخل الصمام. والتطبيق الشائع لهذه الصمامات في أنظمة توزيع الماء، هو تركيبها في الأنابيب الرئيسة التي تصل بين شبكات أنابيب منفصلة تقع على ارتفاعين مختلفين. وعندما ينساب الماء عبر الصمام من المنطقة الأعلى إلى المنطقة الأخفض يتمّ تخفيف الضغط لتفادي فائض ضغط في شبكة الأنابيب في المنطقة الأقلّ ارتفاعاً.

ويمثل الشكل 6-22 صمام تخفيف الضغط. يُنقل ضغط مدخل صمام تخفيف الضغط إلى قمة مكبس الصمام والذي ينحو إلى إغلاق الصمام، بينما يُنقل ضغط مخرج الصمام إلى قمة المكبس عبر صمام موجّه. يتجه الضغط عند مدخل المكبس الأوتوماتيكي تحت حاجز الصمام الموجه، نحو الأعلى محاولاً إغلاق المكبس الموجه. ويعاكس هذه القوة، نابضٌ يضغط باتجاه الأسفل على البوابة محاولاً فتح الصمام. وبتدوير حلقة الصمام اليدوية تُضبط قوة النابض ووضع الضغط المخفف عند المخرج لدى القيمة المرغوبة. فإن كان الضغط عند مخرج الصمام الأوتوماتيكي منخفضاً نسبياً، يتمّ تخفيف الضغط تحت حاجز الصمام الموجّه وبالتالي يُفتح الصمام الموجّه والذي يقوم بدوره بتخفيف الضغط فوق مكبس الصمام ويسمح بانسياب زائد عبر الصمام الأوتوماتيكي. وبشكل معاكس يقوم ضغط عالٍ عند المدخل داخل إلى الصمام الأوتوماتيكي، بتخفيف الانسياب عبر الصمام الموجه، والذي يزيد الضغط على قمة مكبس الصمام، ومن ثم تخفيف الانسياب عبر الصمام الأوتوماتيكي. ولذلك يتمّ المحافظة على الضغط عند المخرج ثابتاً حتى ولو تغيّر ضغط المدخل.

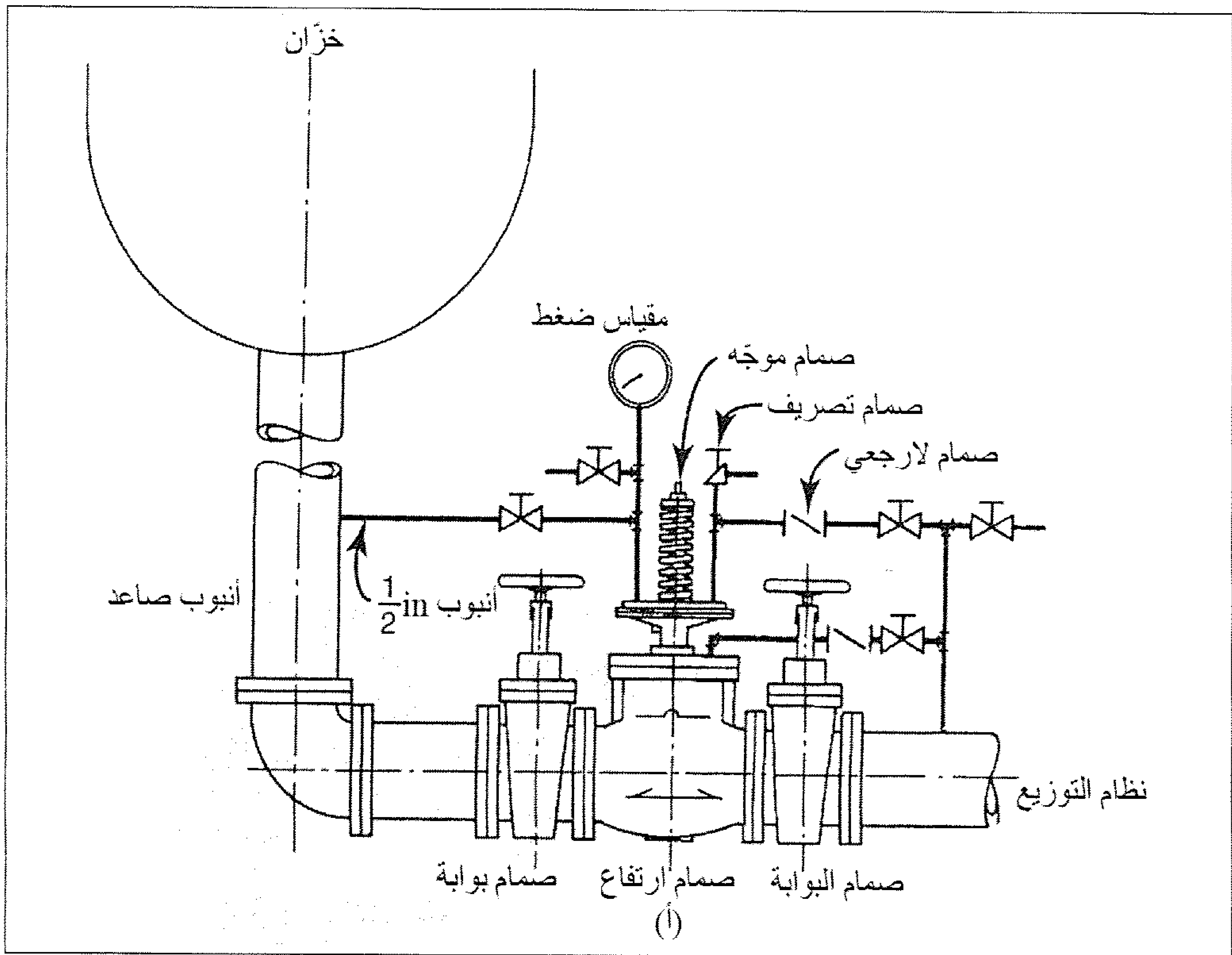
يمكن تجهيز صمامات تخفيف الضغط بصماميّ توجيه (Pilot Valves). وعبر هذه الترتيبات يمكن لصمام أوتوماتيكيٍّ أن يعمل كصمام تخفيف ضغط وكذلك كصمام مساند. ويحافظ على ضغط مدخل محدّد مسبقاً شريطة أن يكون ضغط المدخل أعلى من قيمة محدّدة مسبقاً، ويغلق الصمام إذا انخفض ضغط المدخل إلى ما دون ضغط مساند محدّد مسبقاً وذلك للمحافظة على خدمات الماء على طرف مدخل الصمام. يمكن استخدام ترتيبات مراقبة وتحكم أخرى لتشغيل صمام أوتوماتيكي كصمام تخفيف ضغط وكصمام موجه مهدئ، أو كصمام تخفيف ضغط وكصمام قطع. يقوم صمام موجه ومخفّف بفتح الصمام الأوتوماتيكي للمساواة بين ضغطي مدخل ومخرج الصمام إذا انخفض ضغط المدخل إلى ما دون قيمة محدّدة مسبقاً. يمنع ارتداد التيار في صمامات تخفيف الضغط وفي صمامات القطع، وذلك عبر إغلاق الصمام إذا انخفض ضغط المدخل إلى ما دون ضغط المخرج. يعتمد نمط ضبط ومراقبة ضغط المدخل المختار على نوع التشغيل المطلوب لتمديدات وتركيبات محدّدة.

صمامات الارتفاع

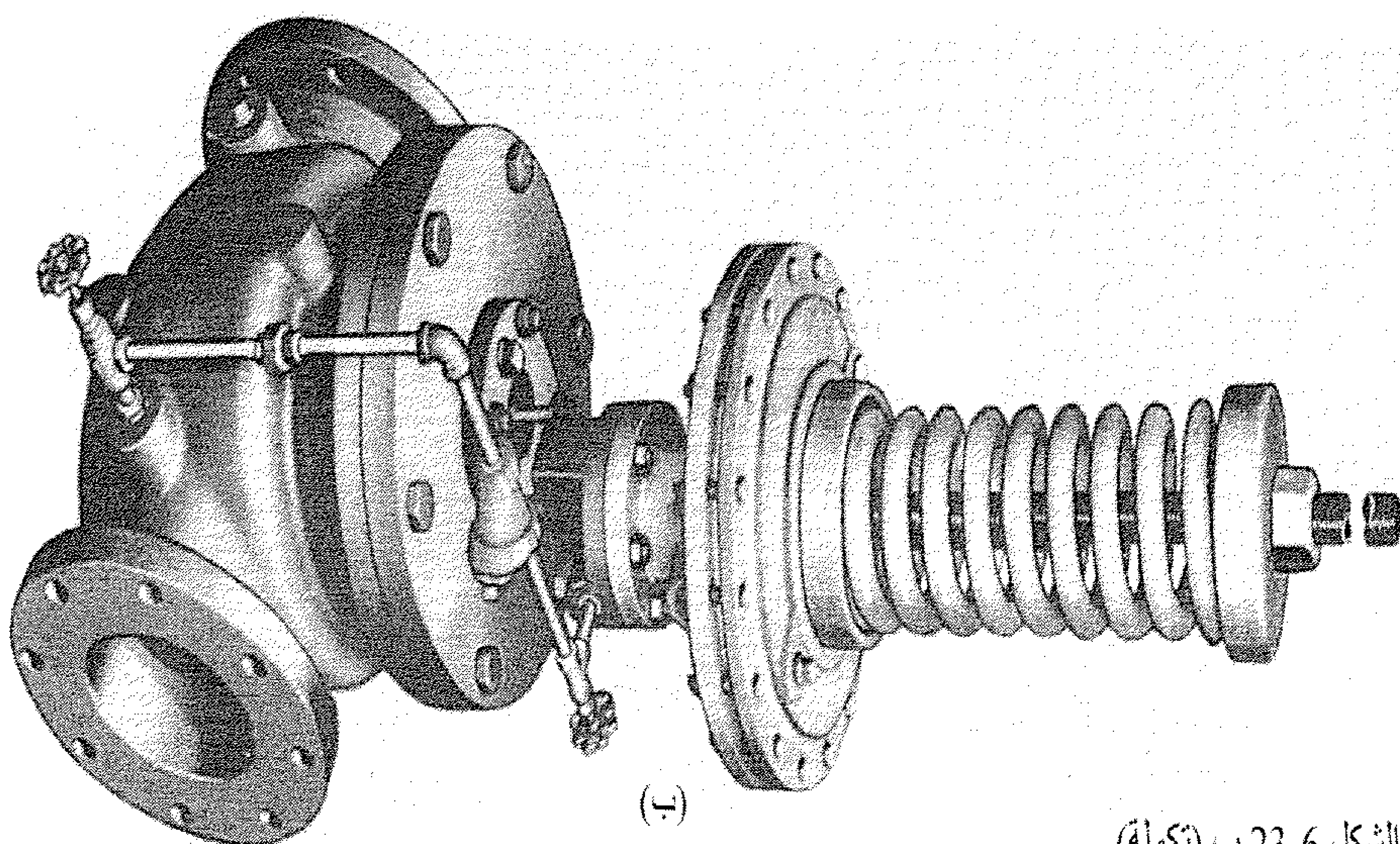
تستخدم صمامات الارتفاع (Altitude valves) للضبط الأوتوماتيكي للانسياب من وإلى خزان مرتفع أو الأنابيب الشاقوليّة للمحافظة على ارتفاع محدّد لمناسيب الماء. وتوضع عادةً هذه الصمامات في حفرة للصمامات بجوار الأنبوب الصاعد إلى الخزان المرتفع. يتمّ تركيب صمام ارتفاع مصمم كصمام تسلسل ثنائي الدور (شكل 6-23) في الأنبوب الذي يصل الخزان بالنظام. يُغلق الصمام أوتوماتيكياً عندما يمتلئ الخزان منعاً لفيضانه. عندما يصبح الضغط على جانب التوزيع في الصمام أقل من جانب الخزان، يفتح الصمام سامحاً للمياه بدخول الخزان أو مغادرته.

يظهر الشكل (6-23أ) ترتيب شبكة الأنابيب لصمام ثنائي الدور. يركب صمام الارتفاع على أنبوبٍ المدخل – المخرج بين صمامين حاجزيين منعزلين. يوصل الصمام الموجّه بواسطة أنبوبين صغيرين بالأنبوب الصاعد إلى الخزان المرتفع من جهة، وبالأنبوب الرئيس من نظام التوزيع من الجهة الثانية. يوضّح الشكل (6-23ب) منظراً خارجياً لصمام ارتفاع ثنائي الدور. يتمّ التحكّم بسرعة الصمام في أثناء إغلاقه وذلك بضبط صمام الإبرة في الأنبوب بين جسم الصمام وقاعدة الموجه. يعمل الصمام الموجّه الموجود في الأعلى، على مبدأ حاجز محمّل على نابض، ثلاثي المسار بحيث ينقل ضغط الماء إلى قمة المكبس في الصمام الرئيس. وبتدوير الصامولة على السن الحلزوني أعلى العمود، يمكن ضبط القوة المطبقة على حاجز لضبطٍ مسبق لمنسوب الماء في الخزان المُحافظ عليه أوتوماتيكياً. يوضّح الشكل (6-23ج) طريقة عمل الصمام الموجّه التي تسمح بانسياب الماء من الخزان. يصرف الماء خارج الحجرة الموجودة فوق حاجز الصمام الموجّه عبر صمام قاطع مفتوح موجود في أنبوب ذي قطر صغير إلى نظام ضغط منخفض بجانب الصمام. يسمح هذا الأمر لعمود القاطع بالحركة نحو الأعلى بتأثير قوة المكبس الذي يندفع نحو الأعلى نتيجة ضغط الماء العالي الداخل إلى الصمام من الخزان. ولذلك ينساب الماء خارج الخزان عبر الصمام إلى النظام. وخلال ملء الخزان، ينعكس اتجاه انسياب الماء، إذ يمر من النظام إلى الخزان. ولا يقوم الصمام الموجّه في أثناء الانسياب المعاكس بإغلاق الصمام الأوتوماتيكي، نظراً إلى أن صمام القطع الموجود في الأنبوب المتجه نحو الصمام الموجّه مغلق نتيجة الضغط الأعلى القادم من جانبٍ النظام، مانعاً بالتالي قوة النابض من إنزال حاجز ضمن الصمام الموجّه. وهكذا ففي وضعيات الصمام الموجّه هذه، تكون الماء حرة في الانسياب دخولاً إلى الخزان وخروجاً منه، ويقال في هذه الحالة إن الخزان "عائمٌ" (Floating) على النظام. وإذا استمر الماء بالدخول إلى الخزان، فمن المحتمل ارتفاع منسوب الماء

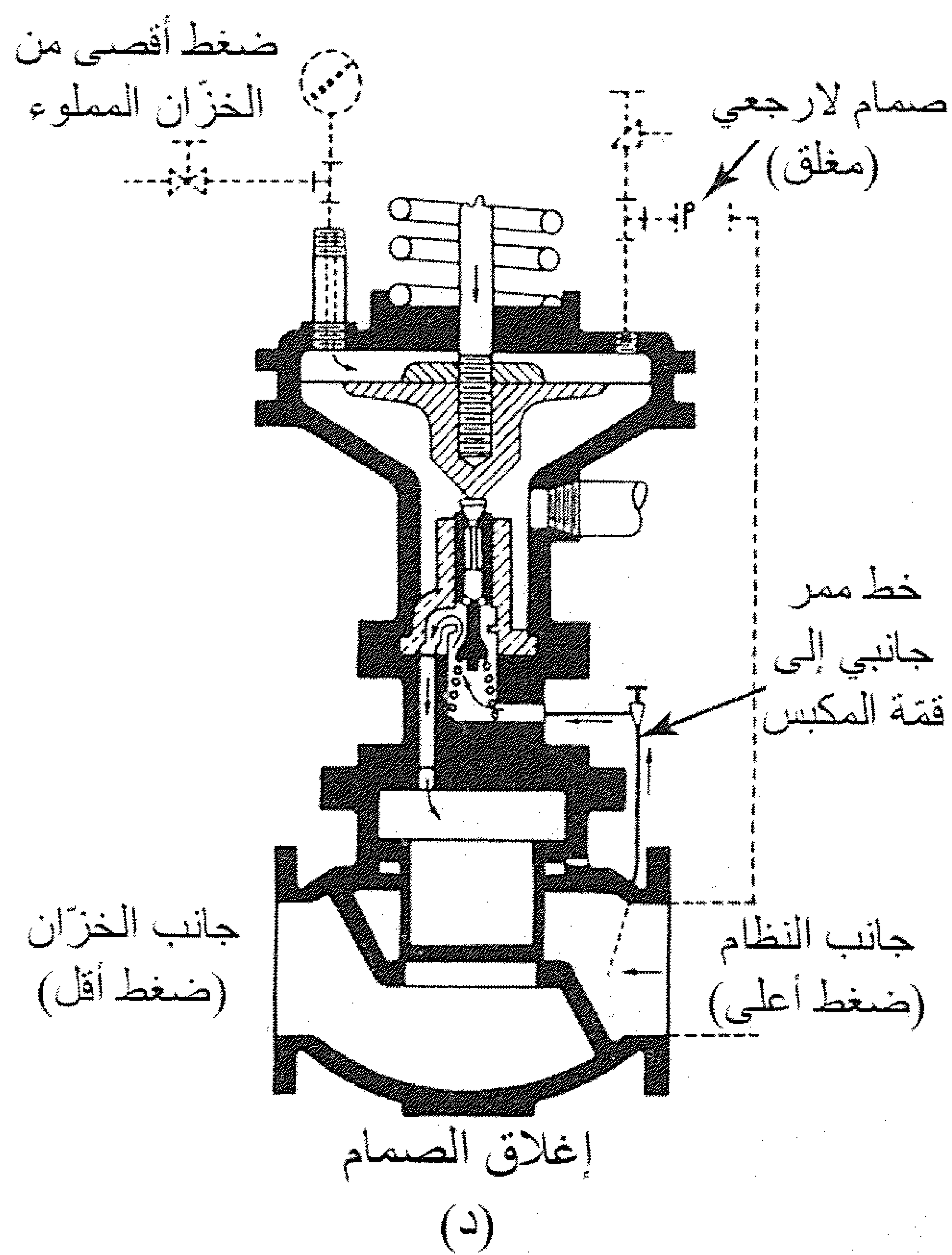
إلى الأعلى وسيقوم ضغط الماء إضافة إلى قوة النابض بدفع الحاجز نحو الأسفل وإغلاق الصمام بين الغرفة تحت الحاجز وقمة مكبس الصمام. يمكن للماء الآن أن ينساب عبر ممر جانبي من جسم الصمام إلى قمة المكبس على جانب النظام كما هو موضّح في الشكل (6-23د)، وسيغلق بالتالي الصمام الأوتوماتيكي. إن أنبوب الممر الجانبي هو ذلك الأنبوب الملحق بجسم الصمام، كما هو موضّح في الشكل (6-23ب). وسيكون أنبوب ارتفاعٍ كرويّ إما مفتوحاً على سعته أو مغلقاً كلياً، وبالتالي لن يعمل كصمام خانق (Throttling Valve).

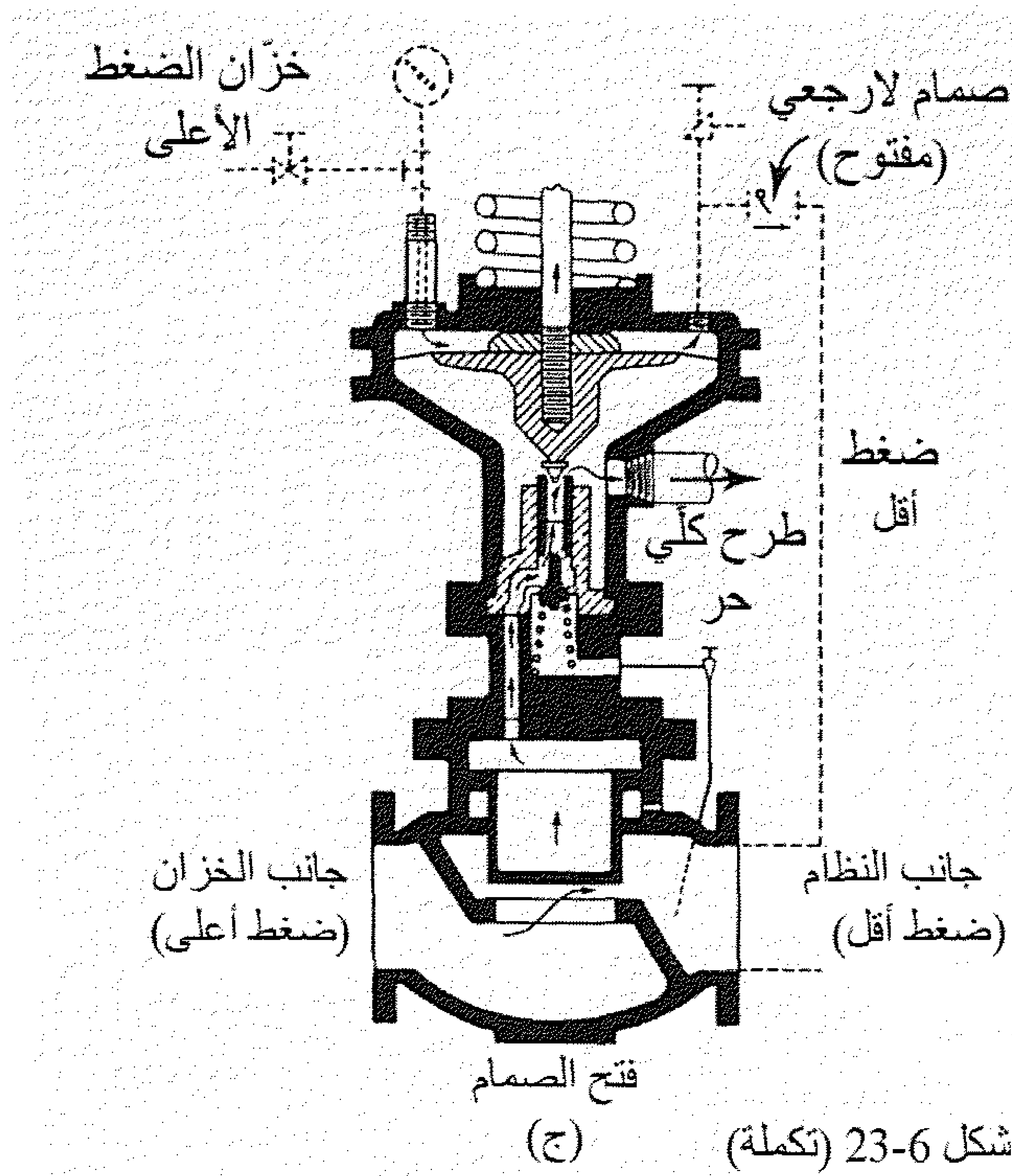


شكل 6-23: صمام ارتفاع ثنائي الدور للتحكّم بانسياب الماء أوتوماتيكياً من وإلى الخزان المرتفع. (أ) ترتيب شبكة الأنابيب. (ب) منظر خارجي للصمام. (ج) تشغيل صمام التوجيه عند انسياب الماء إلى خارج الخزان. (د) صمام التوجيه عندما يكون الخزان ملآن والصمام الأوتوماتيكي مغلق (موافقة من: **GA Industries Inc. (Golden-Anderson Valve Div.**



الشكل 6-23 ب (تكملة)

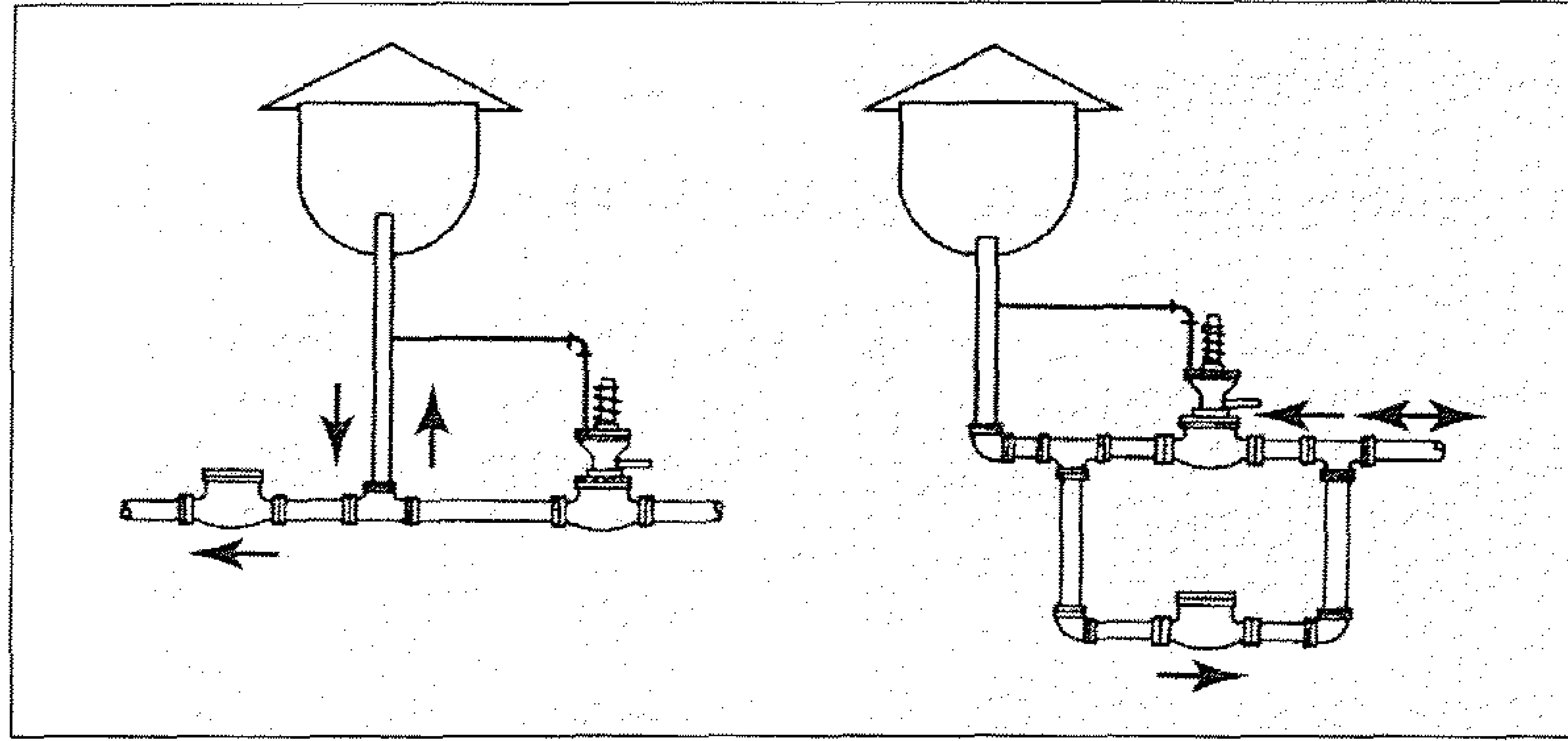




(ج)
شكل 6-23 (تكملة)

يتم تركيب صمام ارتفاع أحادي الفعل (Single-Acting Altitude Valve) في أنبوب المدخل لضبط انسياب الماء فقط إلى خزان المخزون (Storage Tank). وسيكون الانسياب الخارج عبر أنبوب آخر مزود بصمام قطع لمنع مياه النظام من الدخول. يوضّح الشكل 6-24 ترتيب نموذجي لتركيب صمام تسلسليّ أحادي الدور.

تصنع صمامات الارتفاع بتصاميم متنوعة أخرى. فمثلاً يغلق صمام ارتفاع تفاضلي (Differential Altitude Valve) عندما يكون الخزان مملوءاً ويبقى مغلقاً حتى هبوط منسوب الخزان إلى منسوب مياه محدّد مسبقاً قبل أن يُفتح لإعادة ملء الخزان. وتضمن هذه العملية تجدّد مياه المخزون بعد كل عملية إملاء. ويمكن أيضاً لصمام الارتفاع أن يكون صماماً مركباً مؤلفاً من صمام قاطع هزاز مركباً ضمن مجموعة تحكّم دوارة، وتنساب الماء خارجة عبر الصمام القاطع.



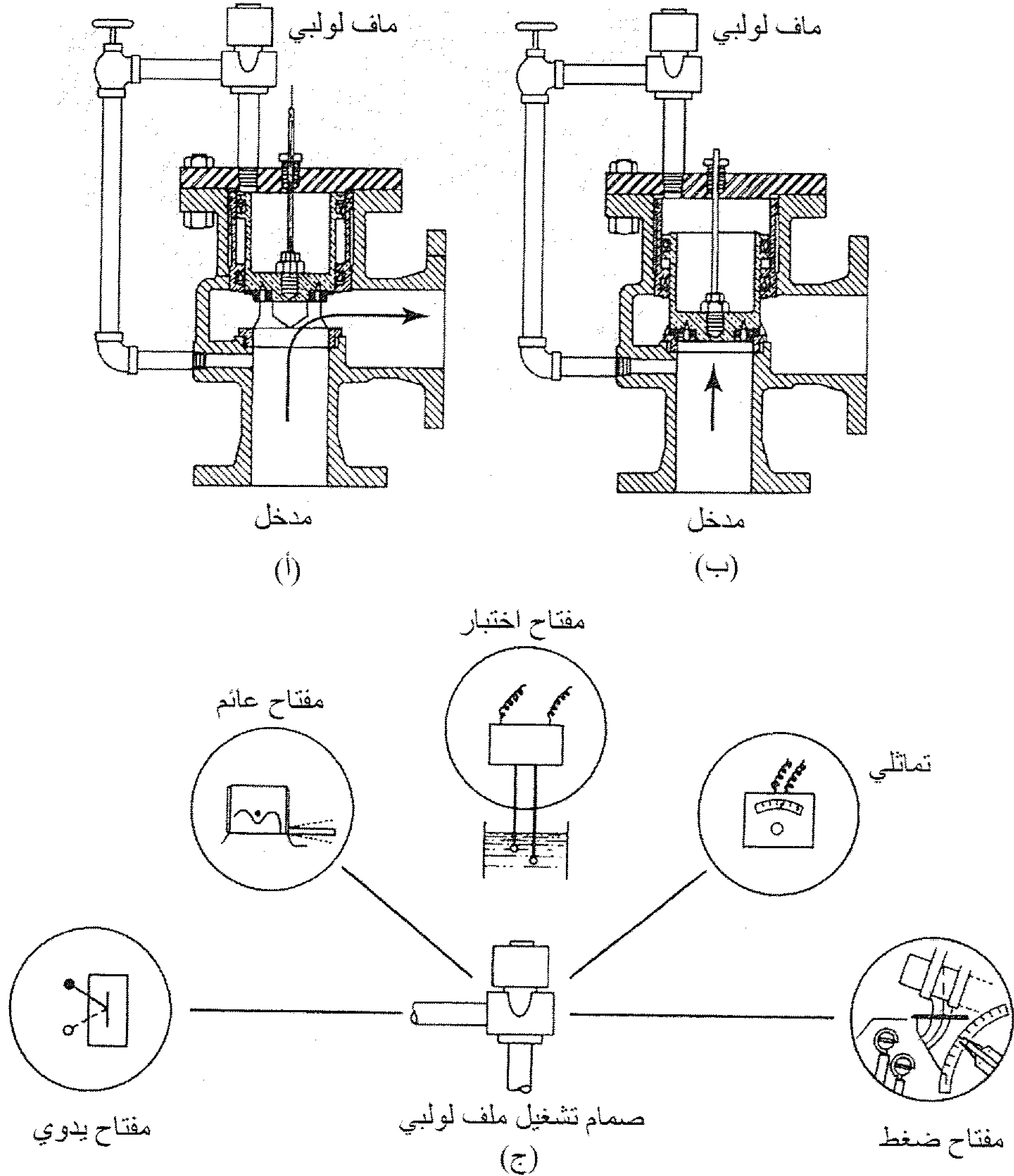
شكل 6-24: ترتيبات نموذجية لتركيب صمام ارتفاع أحادي الدور للتحكّم الأوتوماتيكي بمنسوب الماء في خزان المخزون مرتفع (موافقة من: GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div.)

وعندما ينخفض منسوب الماء في الخزان إلى ما دون ارتفاع محدّد مسبقاً، فستفتح دوّارة الفراشة في أنبوب التوصيل إلى النظام. يمتلئ الخزان عندما تُفتح دوّارة فراشة التحكّم ويتجاوز بالتالي ضغط النظام ضغط الخزّان. وعندما يمتلئ الخزان تُغلق دوّارة فراشة التحكّم، وهكذا يقدّم هذا النمط من الصمامات تسلسل تشغيل ثنائي الدور.

صمامات لف لولبيّ موجهة

إن القوة المطلوبة لتغيير وضعية صمام ثلاثي المسار يتحكم بتشغيل صمام أوتوماتيكي ضئيلة جداً، ويمكن لصمام لف لولبي موجّه (Solenoid Pilot Valve) أن ينتجها. والملفاف اللولبي عبارة عن لفة من الأسلاك تمّ لفها حول لولب بحيث يتشكّل حقل مغنطيسي عند مرور تيار كهربائيّ في اللولب. والقوة المتولدة عن الحقل المغنطيسي هذا كافية لفتح وإغلاق الصمام الموجه. يظهر الشكل 6-25 تشغيل صمام اللف اللولبي على قمة صمام زاويّ. وعندما يكون صمام اللف اللولبى الموجّه مفتوحاً، تكون الحجرة فوق مكبس الصمام مفتوحةً على الغلاف الجوي، بينما يكون وبشكلٍ متزامن الصمام الموجود في الأنبوب القادم من جانب المدخل للصمام الزاويّ مغلقاً. ما يسمح للمكبس في الصمام الزاويّ أن يبقى مفتوحاً

بواسطة ضغط مياه المدخل. وعندما يغلق صمام اللف اللولبى الموجه، تسد الفتحة ويضغط الضغط القادم من مياه المدخل على المساحة العلوية الكبيرة للمكبس مجبراً إياه على الحركة نحو الأسفل، مغلقاً بالتالي الصمام الزاوي.



شكل 6-25: صمام لف لولبىَ موجّه. (أ) صمام لف لولبىَ زاويّ في وضعية فتح. (ب) صمام لف لولبى زاوي في وضعية إغلاق. (ج) عدّة أنواع من التحكّم الكهربائي يمكن استخدامها لتشغيل صمام لف لولبيَ (موافقة من: GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div.)

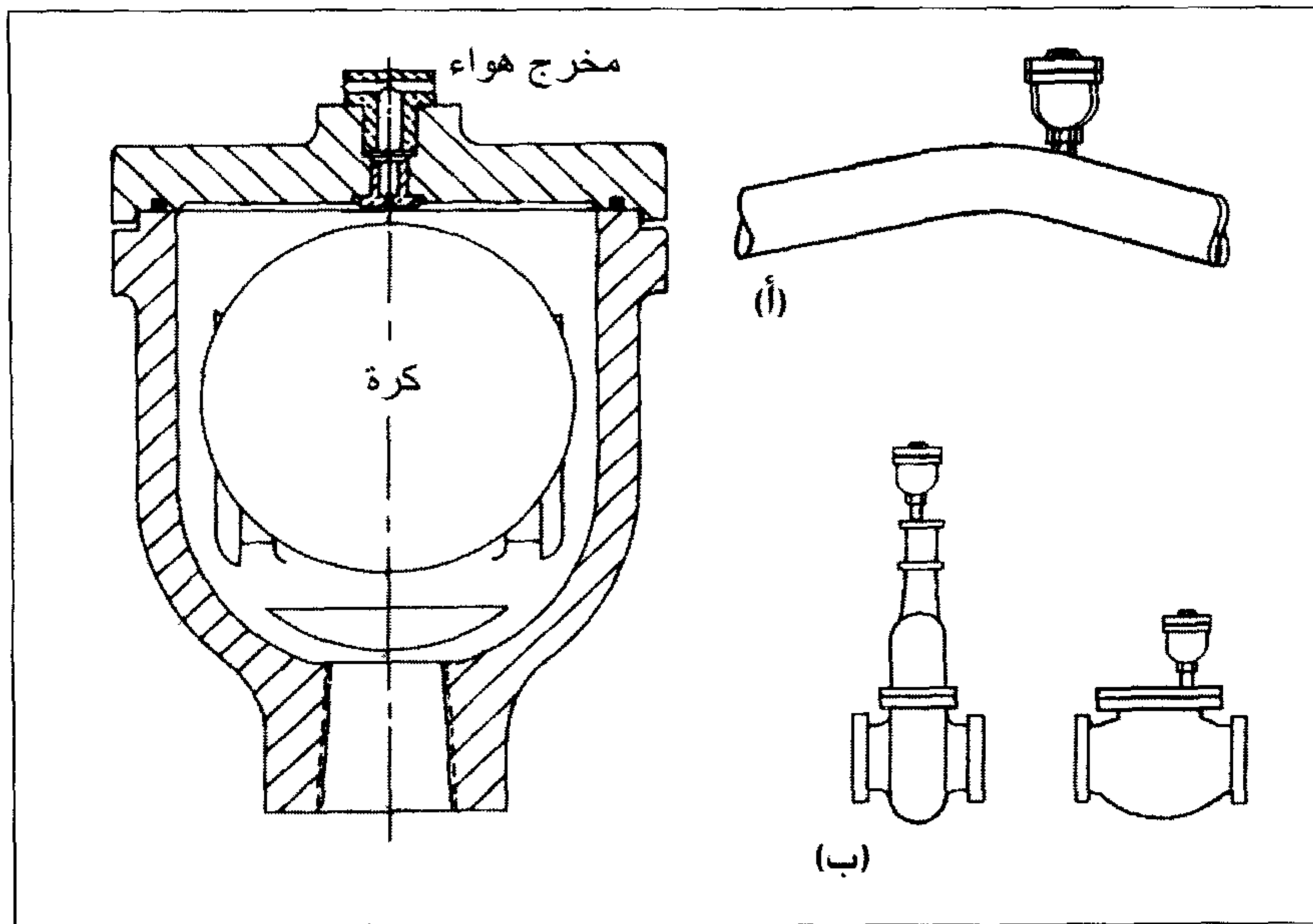
يمكن استخدام أنواع تحكّم كهربائيّ متعدّدة لتشغيل صمام اللف اللولبي الموجه، وتسمح كلها بتشغيل الصمام من مواقع بعيدة والتي تعتبر ميزة أساسيّة لأتمتة نظام توزيع مائي والحصول على القراءات عن بعد. وأبسط أشكال التحكّم الكهربائي هو مفتاح التشغيل والإطفاء. ويمكن الوصول إلى تحكّم أوتوماتيكي باستخدام أدوات استشعار تقوم بنقل إشارة إلى صمام اللف اللولبى الموجه. تؤمن مستشعرات منسوب منفصلة بالتحكّم بالتشغيل والإطفاء، والفتح والإغلاق فقط. وتضمّ هذه الفئة وسائط التحكّم بمنسوب خزان المخزون من قبيل الكرة الطافية (Float)، والزئبق ومفاتيح التشغيل والإطفاء التي تعمل على الضغط (On-Off Pressure Switches).

تقيس مستشعرات المنسوب التشابهية منسوب الماء باستمرار عند تجاوزه مجالاً محدّد مسبقاً. ومن الأمثلة على المستشعرات التشابهية، حواجب قياس الضغط (Pressure-Measuring Diaphragms)، والسوابر الطويلة (Long Probes)، والإشارات الصوتية (Sonic Signals) التي تنعكس على سطح الماء. ومن بين كل ما ذكر، تعتبر أدوات قياس الضغط التي تستخدم تشويه الحجاب كمؤشر لقياس الضغط على خلية تحميل، أو التي تستخدم مبادئ أخرى للقياس على وجه الخصوص ذات مزايا يمكن استخدامها مع كل من صمامات الارتفاع، وصمامات تخفيف الضغط (Pressure-Reducing Valves). كما يمكن استخدام مستشعرات المنسوب التماثلية (Analog Level Sensors) للتحكّم بتشغيل المضخّات.

صمامات تحرير الهواء

يمكن للهواء أن يدخل إلى شبكة أنابيب من خلال مضخة سحبت هواءً إلى أنبوب سحب الماء من خلال وصلات تسرب الهواء أو من خلال تحرر الغازات المذابة أو المجلوب في الماء. تزيد الجيوب الهوائية من مقاومة انسياب الماء نتيجة

تراكمها في النقاط المرتفعة لشبكة توزيع الماء، وفي الجزء المحدب من الصمامات، وفي التوصيلات، وخطوط التصريف الواردة من المضخّات. تركب صمامات تحرير الهواء (Airs Release Valves) في هذه المواقع لتصريف الهواء الحبيس. يحوي صمام تحرير الهواء الشائع الموضّح في الشكل 6-26 كرة طافيّةً على قمة مكبس بحيث تسدّ فتحة مخرجٍ صغيرة. وعندما يتراكم الهواء في حجرة الصمام، تسقط الكرة مبتعدة عن فتحة المخرج مفسحةً المجال للهواء بالخروج. وبعودة الكرة إلى سطح الماء تُسدّ الفتحة مرةً أخرى.



شكل 6-26: صمام تحرير هواء عبر فتحة صغيرة والمواقع الشائعة لتركيبه في أنظمة توزيع الماء (أ) في المناطق المرتفعة في شبكة الأنابيب و(ب) في قباب الصمامات (موافقة من: GA Industries Inc. Golden-Anderson Valve Div)

6-9 مانع ارتداد الانسياب

يجب أن يكون الماء في نظام التوزيع محمياً من التلوّث القادم من ارتداد الانسياب عبر خطوط خدمة الزبائن وعبر مخارج أنظمة أخرى. ويشير مصطلح

اتصال عرضيّ إلى اتصال فعليٍّ أو مستتر بين تجهيز بمياه قابلة للشرب وبمصدر لتلوّث صناعي أو سكني. وبتطبيق ضبط وتحكم اتصال عرضي بفرض مجموعة ضوابط لأعمال السباكة والكشف على موانع ارتداد الانسياب (Backflow Preventers) في توصيلات الخدمة، يمكن للمؤسسة العامة لمياه المدينة أو لمتعهدي القطاع الخاص لتزويد الماء أن تؤمن ضد انتشار تلوّث تحت ظروف متوقعة. ومن أكثر الأمور مدعاةً للقلق، هو ارتداد انسياب مواد سامة أو مياه صرف محتمل احتواؤها على مُمرضات. وتقل مخاطر السَيفَنَة المُرتدّة بالإبقاء على ضغط مناسب في أنابيب الماء الرئيسة لمنع انعكاس الانسياب. وفي الشبكات صغيرة الأقطار، يمكن أن تنتج ضغوط منخفضة نتيجة شبكة الأنابيب صغيرة الأقطار، أو من قدرة الضخ أو استهلاك زائد عند ساعة الذروة.

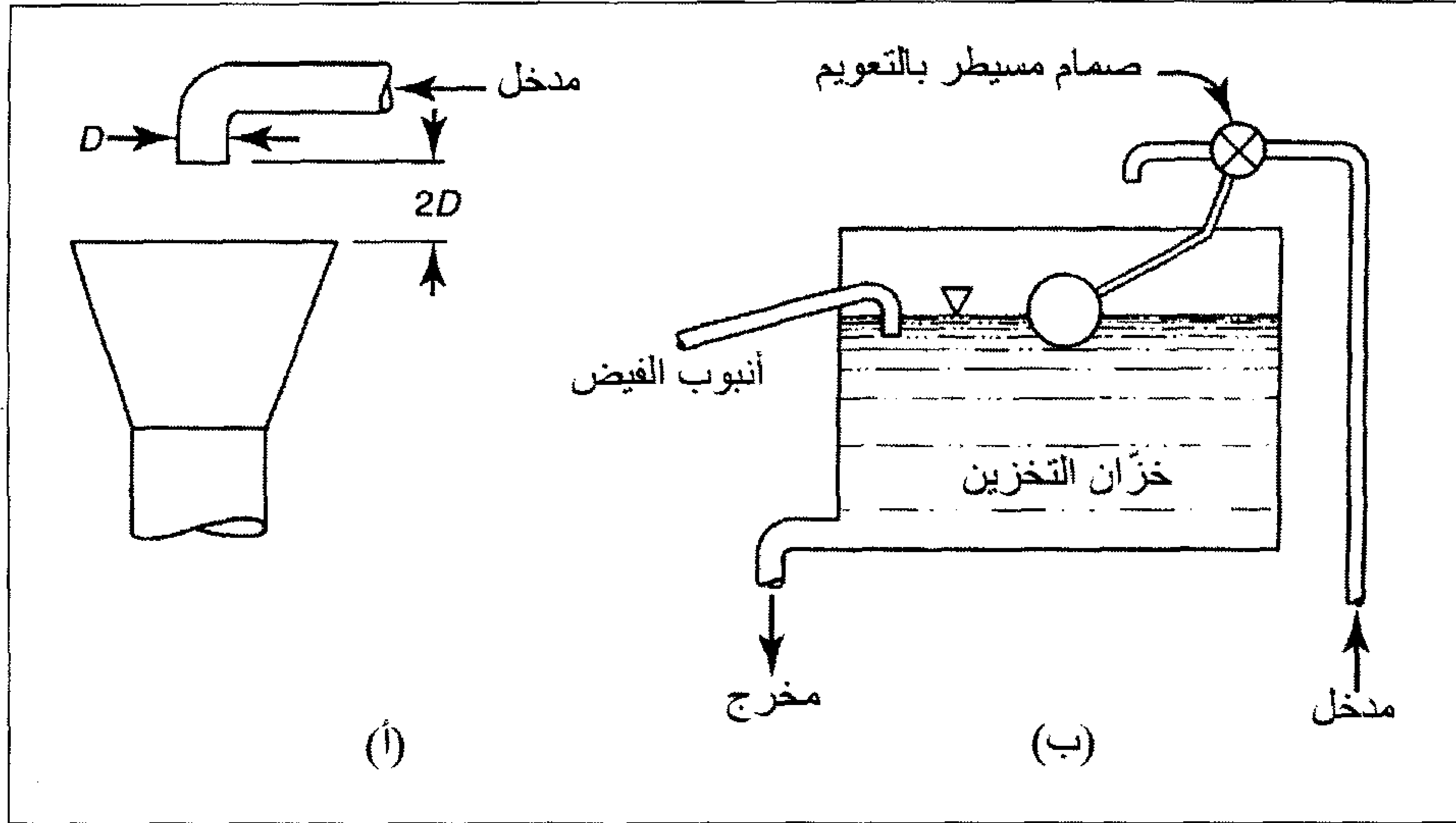
والسَيفَنَة المُرتدّة (Back Siphonage) هي ارتداد انسياب ناتج عن ضغط منخفض أو متراجع في شبكة الأنابيب، ويمكن أن تنتج أيضاً من عطل الأنبوب، أو إصلاح أنبوب مياه رئيس أقلّ ارتفاعاً من نقطة تخديم الماء، أو نتيجة انخفاض الضغط من طرف المضخة المعزّزة الساحبة للمياه. وعلى العكس، يمكن لضغط الارتداد أن يتسبّب بانعكاس الانسياب إذا تجاوز الضغط في وصلات خدمة مستهلك ما، الضغط في أنبوب التوزيع الرئيس الذي يقوم بالتجهيز بالماء. إن من أمثلة الانسيابِ المرتد الناتج من ضغط ارتداد، عودة مياه معالجة كيميائياً على العودة من نظام مرجل يعاني خللاً وظيفيّاً إلى أنبوب التجهيز بمياه الشرب عبر خط التغذية.

إن أبسط طريقة لمنع ارتداد التيار هو توفير فراغٍ هوائي بين نهاية طرح الانسياب الحر لأنبوب التجهيز بالماء ووعاء تلقّي الماء غير المضغوط. ولإيجاد فجوة هوائية مقبولة، ينبغي أن يكون قطر أنبوب التصريف ضعف قطر الأنبوب الذي يقع على أعلى حافة وعاء تلقّي الماء، بحيث لا تقل المسافة بينهما في حال من

الأحوال عن .in 1 (شكل 6-27أ). وبالرغم من أن الفراغات الهوائية أمرٌ شائع في التمديدات الصغيرة، إلا أن فقد ضغط الماء نتيجة فصلٍ فيزيائي في خط التجهيز بالماء إلى مرافق كبيرة، يتطلب إعادة انضغاط النظام. وغالباً ما يكون تركيب خزان تخزين ومضخّات، أمراً أكثر كلفةً من تركيب مانع ارتداد ميكانيكي يقوم بنقل ضغط التجهيز بالماء. وفي كثير من البلدان، تكون أنابيب التجهيز بالماء معزولةً عن النظام العام للتجهيز بالماء عبر فاصل متمثل بفجوة هوائية، أو باستخدام خزان تخزين موجود إما في سقيفة المنزل أو على سطحه. يتمّ ضبط انسياب الماء بواسطة صمام عائم مركّب في أنبوب المدخل، ويضمن أنبوب مفيض طوارئ بعدم تسبّب عطل صمام المدخل بفيضان الماء وانسيابها على حواف الخزان (شكل 6-27ب). تتمثّل سيئة هذا الترتيب بضرورة وجود وصلة ضغط مباشر لتأمين ضغط مناسب لتشغيل بعض الأدوات الكهربائية كالغسالة الأوتوماتيكيّة ورذّاذ ريّ عشب الحديقة.

والأنواع الأربعة الرئيسة لمانعات ارتداد الانسياب الميكانيكيّة هي فاصِل إخلاء الهواء (Atmospheric Vacuum Breaker)، وفاصِل إخلاء الضغط (Pressure Vacuum Breaker)، وصمام قطع مزدوج (Double Check Valve)، والجهاز الأساسيّ للضغط المنخفض (Reduced-Pressure-Principle Backflow Preventer). ويعتمد اختيار أيّ منها على نمط التمديدات وعلى المخاطرة المتضمنة في ما لو حدث أيّ ارتداد. فإن كانت توصيلات الماء مباشرة وخاضعة لضغط مرتد، فإن مانع ارتداد الانسياب الأساسيّ هو فقط النمط المناسب المعتبر بديلاً لفاصل الفجوة الهوائية (Air-Gap Separation). ولايزال فاصل الفجوة الهوائية هو النمط الموصى به في التطبيقات الصناعيّة، نتيجة اختلاط المواد الكيميائية بالماء، كالأوعية الضخمة الحاوية على محاليل أحماض لطلاء المعادن مثلاً. أما في التطبيقات غير الخاضعة لضغط مرتد، فإنه يمكن تركيبِ

فاصِل إخلاء الضغط. ويستخدم فاصِل إخلاء الهواء في صمام شطف المراحيض. ويمكن وصل أيّ من فاصِل إخلاء الضغط أو فاصِل إخلاء الهواء في نظام الترذيذ لريّ عشب الحديقة.

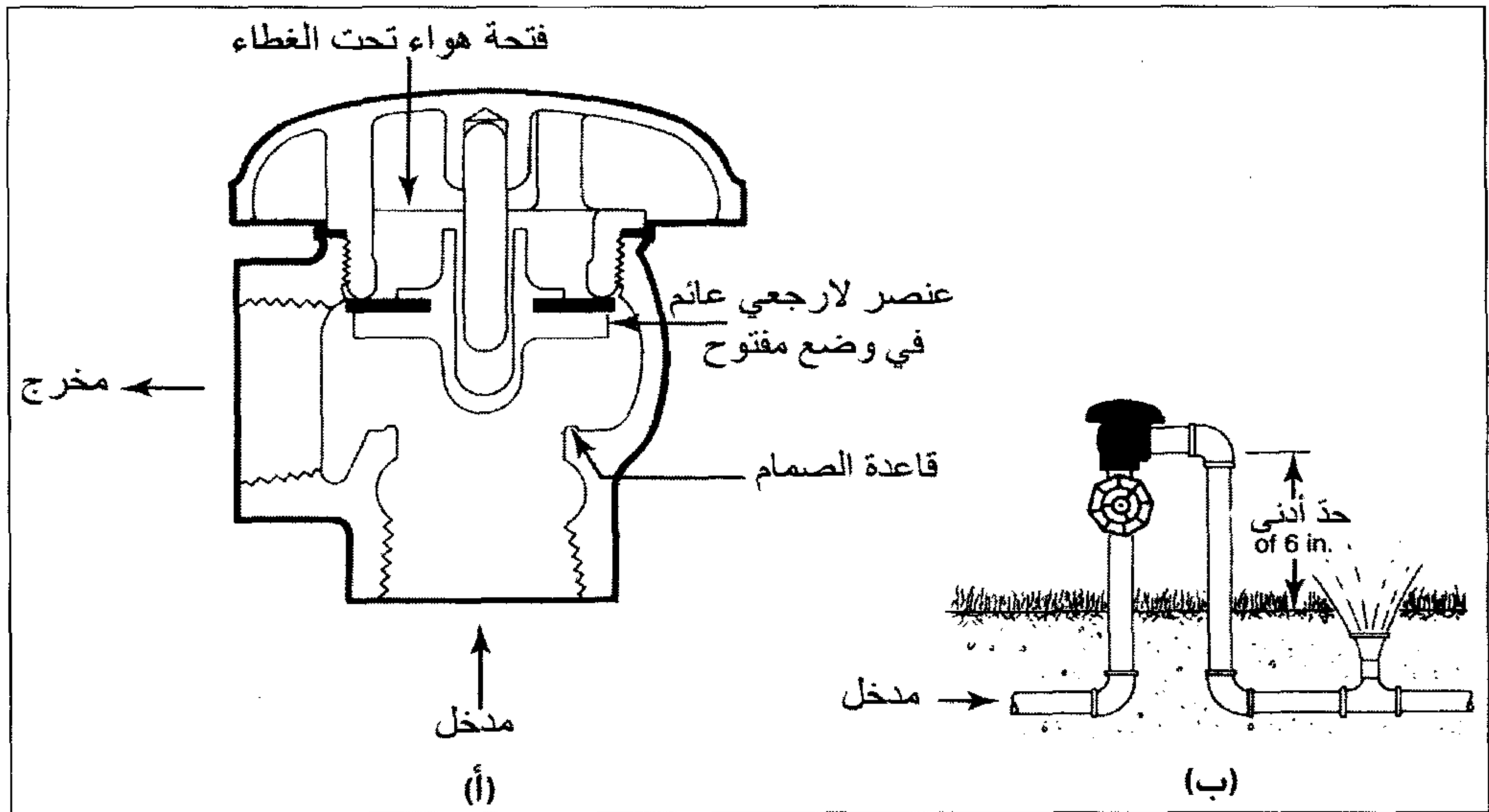


شكل 6-27: فصل الفجوة الهوائية لمنع ارتداد الانسياب في أنبوب التجهيز بالماء (أ) الفجوة الهوائية الدنيا الموصى بها تبلغ ضعف قطر أنبوب التجهيز بالماء. (ب) خزان المخزون مع فصل الفجوة الهوائية وأنبوب مفيض لمنع امتلاء الخزان وفيضانه إذا فشل صمام التجهيز بالماء بالإغلاق بإحكام

فواصِل إخلاء الضغط والهواء

يوجد في فاصِل إخلاء الهواء (Vacuum and Pressure Vacuum Breakers) عنصر متحرّك يمنع الماء من الخروج عبر الفتحة في قمة الفاصل خلال انسياب الماء، ويتحرك نحو الأسفل تاركاً الفتحة مفتوحة في أثناء توقّف الانسياب. وكما يظهر (الشكل 6-28أ)، فإن العنصر القاطع العائم مفتوح، إذ إنه مرفوع نتيجة ضغط المياه المنسابة نحو الأعلى عبر الصمام. وعندما يتوقف التيار يهبط العنصر على قاعدة الصمام بقوة الثقالة. وهذا ما يمنع السيفَنَة عبره السماح للهواء بالدخول بقطع السيفون في ثنية الأنبوب المرتفعة. ويظهر (الشكل 6-28ب)،

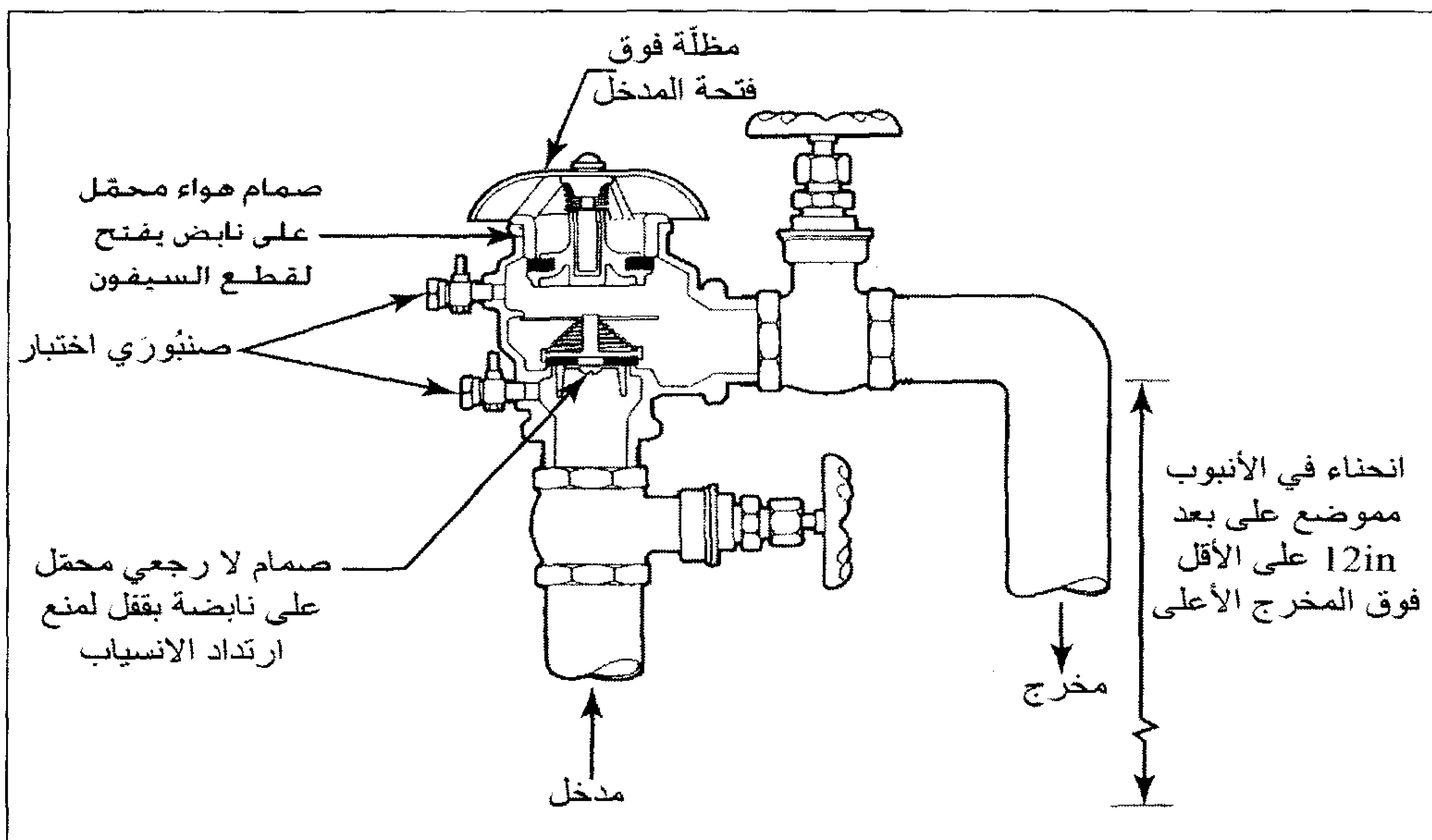
تركيباً نموذجياً لرذّاذات ريّ العشب. وهناك تطبيق آخر لفاصِل إخلاء الهواء هو تركيبه على الأنبوب العلوي لمحطة التجهيز بالماء حيث يمكن إضافة الماء إلى خزّانات مواد كيميائيّة متحرّكة تُستعمل لمزج الأسمدة، ومبيدات الأعشاب الضارّة، أو أيّ محاليل كيميائيّة أخرى. ونظراً إلى احتمال غمر النهاية الأخرى للخرطوم الموصول بنهاية أنبوب الملء، فإن سيفنَة المحلول محتملة، ما لم يُصمّم النظام بحيث يمنع ارتداد المحلول. لا ينبغي لفاصِل إخلاء الهواء البقاء لفترات طويلة تحت الضغط ولا يمكن له أن يترافق مع صمام توقّف مركّب على جانب الطّرح في الفاصل.



شكل 6-28: فاصِل إخلاء هواء، (أ) يغلق العنصر القاطع العائم فتحة الهواء في أثناء انسياب التيار عبر الوحدة. عندما يتوقف التيار، ينخفض العنصر ليغطي الفتحة ويسمح للهواء بتعطيل السيفون. (ب) تركيب نموذجي على نظام ترذيذ (موافقة من: FEBCO ® Backflow Prevention)

يحوي فاصِل إخلاء الضغط على مجموعةٍ مكوّنة من صمام قطع محمل على نابض وصمام هواء محمّل على نابض، كما هو موضّح في (الشكل 6-29). يمنع صمام القطع ارتداد الانسياب، ويفتح صمام الهواء ليسمح للهواء بالدخول عندما

يقترب الضغط داخل جسم الفاصل من الضغط الجوي. فإن لم يغلق صمام القطع بشكلٍ محكم بسبب تداخل مادة غريبة، فإن الهواء سيُسحب عبر صمام الفتحة الذي يعمل أوتوماتيكياً لمنع ارتداد الانسياب. لقد زُوِّد جسم الفاصل بصنبوريّ اختبار للتحقّق من إحكام إغلاق الصمام تجاه انسياب مرتد، وكذلك بصمام توقّف على جانبي الفاصل. يركب فاصِل إخلاء ضغط، حيثما تكون وصلات دخول الماء المنخفضة غير خاضعة لضغطٍ مرتدّ، غير أنها يمكن أن توصل بوصلات الماء المباشرة الخاضعة لانسياب مرتدّ شريطة أن تكون الوصلة العرضية على اتصال مع مياه لا تحوي مواداً سامّة.

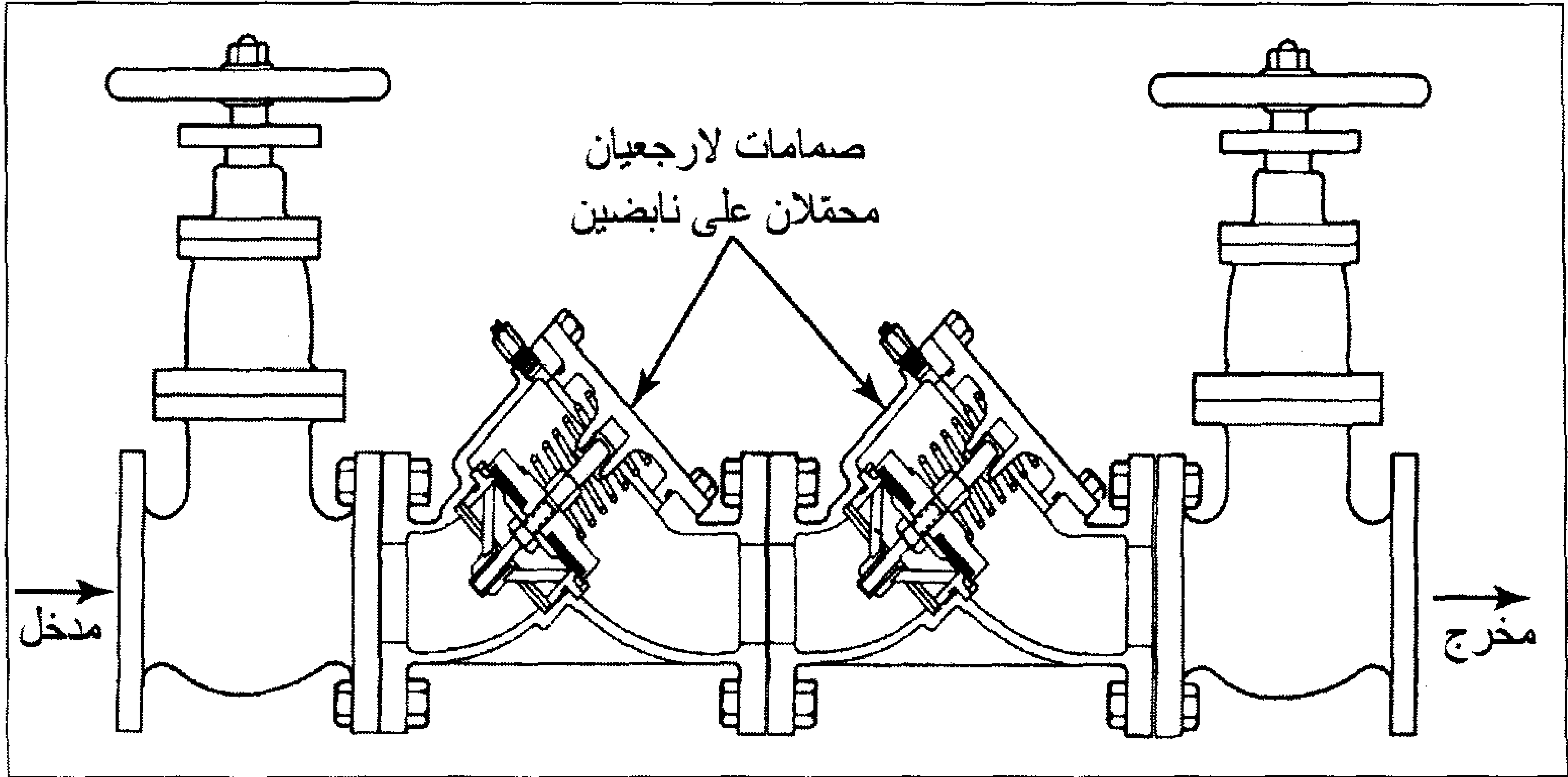


شكل 29-6: مقطع عرضي في فاصل إخلاء ضغط يظهر صمام قطع محمّل على نابض فوق الفتحة وكذلك صمام هواء محمل على نابض فوق فتحة مدخل الهواء تحت المظلة (موافقة من: FEBCO ® Backflow Prevention)

مجموعة صمام القطع المزدوج

يتكون مانع ارتداد الانسياب لصمام القطع من صمامي قطع منفصلين يعملان بشكلٍ مستقل. كما يتضمّن التركيب صمامي توقّف محكمين متموضعين على كل من أطراف الصنبور الأربعة للتحقّق من إحكام إغلاق الصمامات تجاه انسياب مرتد. ويبدو في الشكل

6-30 أن كلا صمامي القطع مغلقان. وفي ما يتعلق بفاصِلي إخلاء الضغط، فإن صمام القطع المزدوج (Double Check Valve Assembly) يستخدم للوقاية من ارتداد انسياب مواد غير سامة في وصلات خاضعة لانسياب مرتد، وكذلك للوقاية من ارتداد انسياب مواد سامة وغير سامة في وصلات غير خاضعة لضغط مرتد.



شكل 6-30: صمام قطع مزدوج لمنع ارتداد الانسياب مكوّن من صماميّ قطع محمّلين على نابضين ويعملان بشكلٍ مستقل (موافقة من: FEBCO ® Backflow Prevention)

مانع ارتداد انسياب أساسيّ للضغط المنخفض

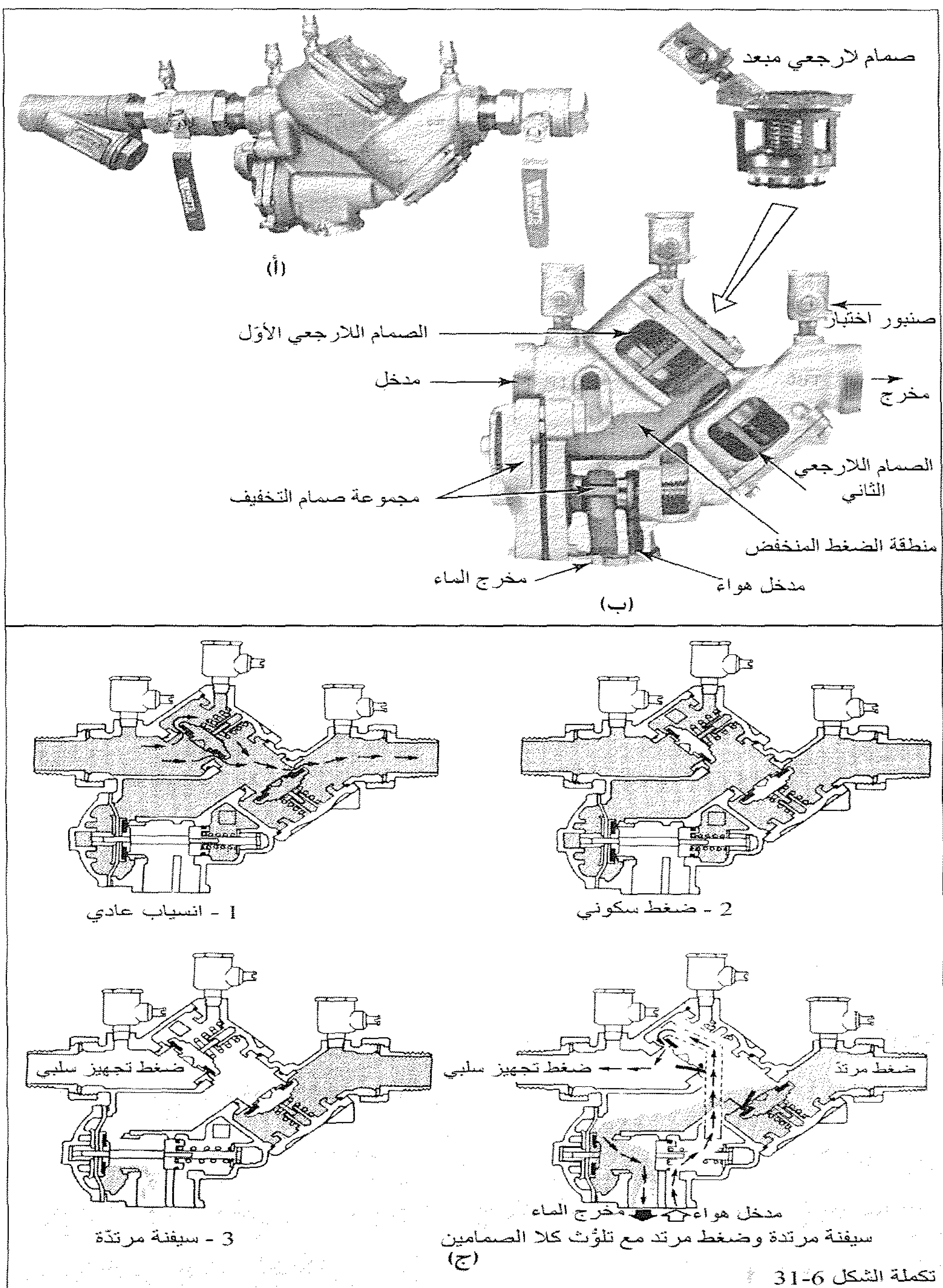
تتألف أداة ارتداد الانسياب هذه (-Backflow Preventerreduced-Pressure Principle) من صمامي قطع منفصلين محملين على نابضين (-Spring Loadedcheck Valves)، مع صمام تَخفيف يعمل أوتوماتيكياً بالضغط التفاضلي (Pressure-Differential Relief Valve)، متموضع بين صمامي القطع. وللصمامين الحاجزيين العازلين وظيفة التحقّق من تشغيل الصمامات الداخلية الثلاثة إضافة إلى التمكن من فكّ وسحب الوحدة بهدف إصلاحها. وأساليب التشغيل الأربعة الموصوفة هنا موضحة في مخططات الشكل 6-31.

1. **انسياب عادي (Normal Flow)**. صماما القطع مفتوحان ويسمحان للانسياب بالمرور عبر مانع الارتداد. يخفف فقد العلوّ في صمام القطع الأول، الضغط في النطاق الواقع بين الصمامين بمقدار 5 و11 Psi عن مقدار ضغط التجهيز. ويتم الإبقاء على صمام التخفيف مغلقاً عندما يكون ضغط الإمداد عالياً، ويتم التحكّم بذلك من خلال الضغط التفاضلي.

2. **ضغط سكوني (Static Pressure)**. يكون صماما القطع مغلقين بقوة نوابض الصمامات، مع عدم وجود انسياب عبر الوحدة. ويبقى صمام التخفيف مغلقاً بفرق ضغط بين 5 و11 psi ونطاق التجهيز بالماء والنطاق الأوسط (ضغط منخفض).

3. **سَيفَنَة مُرتدّة (Back Siphonage)**. يكون صماما القطع مغلقين نتيجة ضغط سلبيّ لتجهيز الماء. ونتيجة تساوي الضغط (فقد تفاضل الضغط) بين نطاق التجهيز بالماء والنطاق الأوسط (ضغط منخفض)، يفتح صمام التخفيف سامحاً بطرح وصرف المياه المحتجزة في النطاق الأوسط. وعلى ذلك إذا تسربت أيّ مياه من صمام القطع من طرف الطّرح والصرف، فإنها ستنساب من صمام التخفيف.

4. **سَيفَنَة مُرتدّة وضغط مرتدّ مع تلوّث كلا الصمامين (Back Siphonage & Back Pressure With Both Checks Fouled)**. كما هو موضّح في المخطط 4 يتسبّب ضغط تجهيز سلبيّ بفتح صمام التخفيف. وافترض الآن أسوأ الظروف بأن كلا الصمامين مفتوح جزئياً مع وجود قطع من قشور الأنبوب أو أيّ مواد أخرى. تسمح هذه الحالة بوجود ضغطٍ سلبيّ في النطاق الأوسط، وسيسمح لمياهٍ ملوّثة محتملة بالدخول إلى النطاق. ونظراً إلى أن صمام التخفيف مزدوج القاعدة، فإن الانسياب المرتد الداخل إلى الصمام القاطع الثاني سيتم طرحه وصرفه، بينما يسمح النصف الثاني لصمام التخفيف بسحب الهواء بواسطة الضغط السلبي للتجهيز بالمياه إلى داخل النطاق الأوسط فوق صمام القطع الأول.



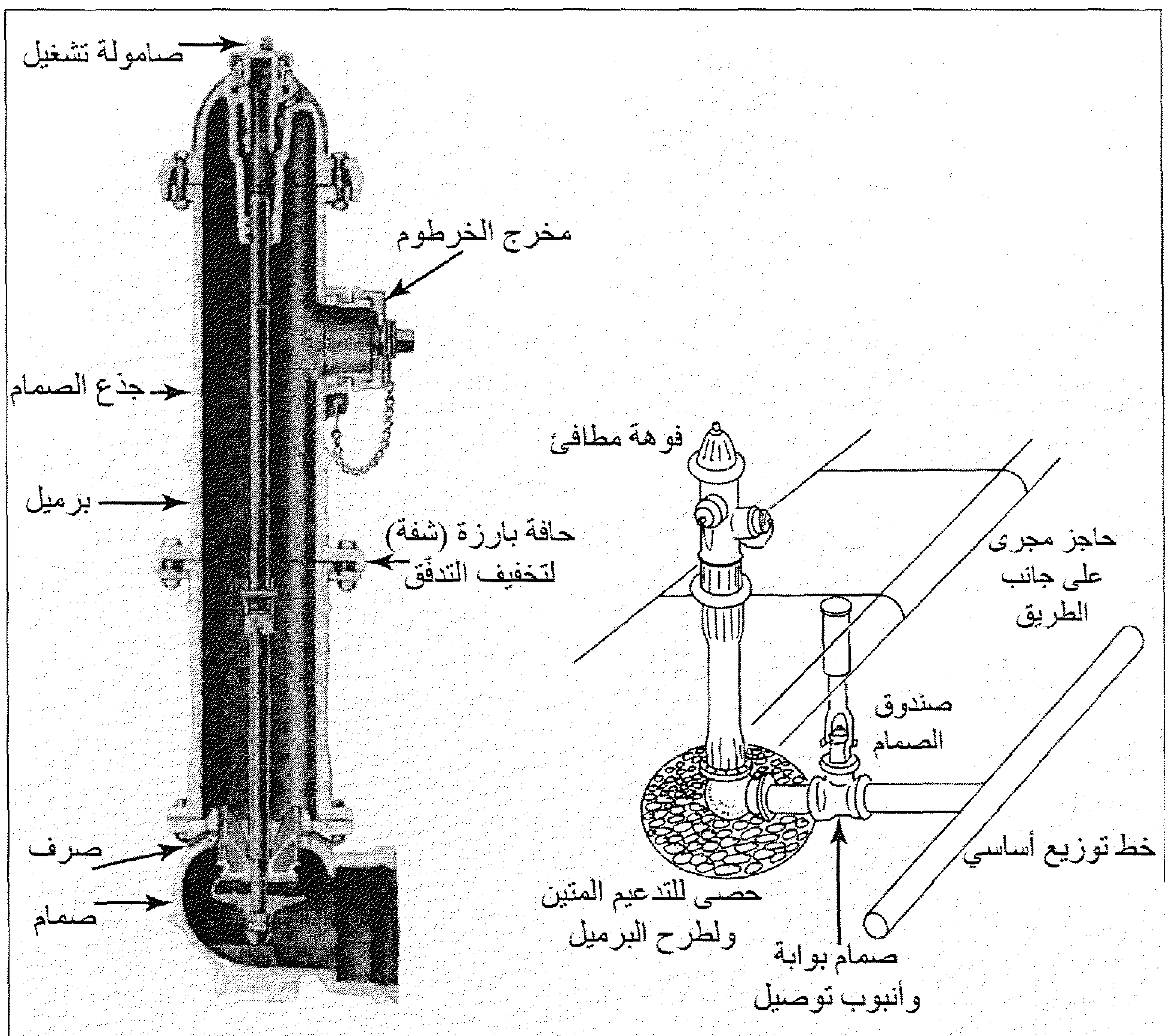
شكل 6-31: مانع ارتداد انسياب أساسيّ للضغط المنخفض (أ) منظر خارجي (ب) مقطع مفتوح يظهر الصمامات الداخلية الثلاثة. (ج) توضيحات لأساليب التشغيل الأربعة (موافقة من: .Watts Regulator Co)

يمكن مقارنة مانع ارتداد انسياب أساسيّ للضغط المنخفض من حيث السلامة بفصل الفجوة الهوائية. إضافة إلى ذلك، يتمتع بميزة نقل ضغط الماء إلى نظام تمديدات المستهلك. ويمكن هذا الأمر بتشغيل التجهيزات المائية بواسطة الضغط الرئيس بما في ذلك نظام ترذيذ الماء للوقاية من الحرائق. تنتشر التركيبات الشائعة لمانع الارتداد في الصناعة، والمشاريع الكيميائيّة، والمشافي، وقاعات الموتى، وأنظمة الري. يجب الكشف على موانع ارتداد الانسياب الميكانيكيّة دورياً للتأكّد من التشغيل الصحيح للصمامات الداخلية. تتضمّن إجراءات الكشف وصل مقياس ضغط تفاضلي إلى صنابير الاختبار وإغلاق صمام واحد من صمامات التوقف المعزولة، وذلك لتطبيق ضغط مياه ارتداد انسياب على طرف الطّرح لصمام داخلي. ومن ثم وبتحرير ضغط الماء من طرف مدخل الماء للصمام، يتمّ الكشف على إحكام الإغلاق من خلال قدرة الصمام على الاحتفاظ بضغط ارتداد الانسياب بدون تسرّب.

10-6 فوهات صنابير الحرائق

توفّر فوهات الحرائق (Fire Hydrants) اتصالاً مع المياه الجوفية لأغراض إطفاء الحرائق، ولغسل الشوارع، ولشطف وتنظيف خطوط الماء الرئيسة. يظهر الشكل 6-32 الأجزاء الرئيسة لفوهة حريق. لقد جهز برميل الحديد الصب (Cast-Iron Barrel) بفتحةٍ من الأعلى وبصمام في الأسفل يعمل بواسطة عمود صمام طويل ينتهي فوق البرميل. وللوحدة النموذجية من فوهات الحرائق بزباز مركب على خرطوم قطره $2\frac{1}{2}$ إنش، ومخرج لضخّاخ قطره $4\frac{1}{2}$ إنش ونصف لأنبوب السحب. لقد صُمّم البرميل وعمود الصمام بحيث لا يتسبّب أيّ كسر أو خرق للبرميل في قلع الصمام من مكانه، ولتفادي أيّ فقدٍ بالماء. تُركب فوهات الحرائق على امتداد الطرقات خلف الحاجز الحجري على جانب الطريق (إطريف) بمسافة كافية تكون عادةً بحدود .in 2، لتفادي الضرر الناجم عن المركبّات المتوقفة على جانب الطرق. ولا يكون عادةً قطر الأنبوب الواصل بين فوهة الحرائق وأنبوب

التوزيع الرئيس أقلّ من .6 in (150 mm) ويحتوي على صمام بوابة ليسمح بعزل الفوهة لأغراض الصيانة. ومن الضروري وجود أساس متين من الحصى أو من كسارات صخريّة وذلك لمنع هبوط الأرض وكذلك للسماح بتصريف الماء من البرميل بعد استخدامه. وفي الطقس البارد يمكن للمياه الموجودة في البرميل أن تتجمد متسبّبةً بكسره. وعندما يكون منسوب المياه الجوفية أعلى من مصرف فوهة الحرائق، فيُسدّ عادةً المصرف في أثناء التركيب، فإذا استخدِم أيام الطقس البارد فيُضخ منه الماء بعد الاستخدام.



شكل 6-32: مقطع عرضي لفوهة حريق مع تركيب نموذجي مجاور للطريق (معاد طبعها بموافقة من: Mueller Co. A Grinnel Co.)

11-6 مخططات تصميم أنظمة التوزيع

يتحكّم بترتيب أنظمة الماء، مصدرُ التجهيز بالماء، طبوغرافيا منطقة التوزيع، والاختلاف في استهلاك الماء. فإذا تمّ التجهيز بالماء في نقطة واحدة من شبكة الأنابيب، فإن الأمر يتطلب وجود خزان مرتفع أو خزان على مستوى الأرض مع ضخ معزّز في المناطق البعيدة للإبقاء على ضغوط متبقية. كما ينبغي أن تكون الخطوط الرئيسة الشريانية كبيرةً إلى حدٍ كافٍ لنقل الماء دون فقد كبير في العلوّ. ومن جانب آخر، إذا دخل الماء إلى شبكة توزيع من نقاط مختلفة من آبار مستقلة، فإنه يمكن تخفيض سعة المخزون ويمكن لأحجام الأنابيب بالتالي أن تكون أصغر، وذلك لأنه لا يتوجّب على التجهيز بالماء قطع مسافات كبيرة قبل استهلاكه.

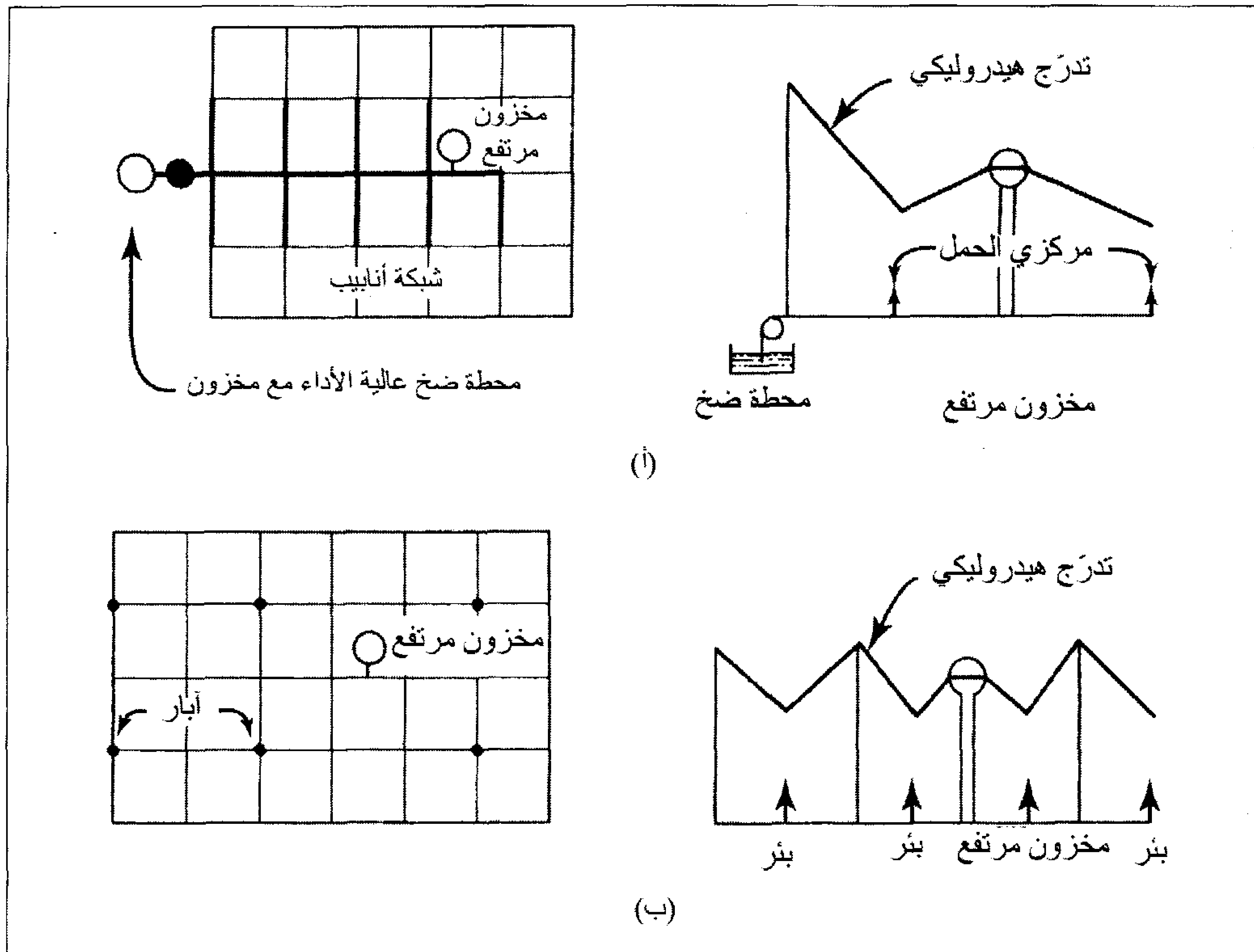
يمكن للطبوغرافيا أن تكون العامل الأساسي في تصميم النظام. فبالأخذ بالاعتبار الحالتين الحديتين، الأولى التي يكون التجهيز فيها بالماء من مكان مرتفع وتنساب عبر الثقالة إلى شبكة الأنابيب، والأخرى التي يدخل فيها التجهيز بالماء من ارتفاع قليل وينبغي أن يضخ للأعلى في شبكة الأنابيب في خزّانات المخزون. يمكن لأنظمة التوزيع أن يكون لها شبكات أنابيب مستقلة على ارتفاعات مختلفة للتحكّم بالضغط يمكنها أن تكون مستقلةً كليّةً أو أن تكون متصلةً بأنابيب مزوّدة بصمامات تخفيف الضغط، أو عبر خزان مشترك يلعب دور خزان تخزين لنظام التوزيع السفلي، ودور خزان سحب بالضخ لنظام التوزيع العلوي.

إن نمط استهلاك الماء تابع مباشرة للاحتياجات الصناعيّة والتجارية والسكنية. ويوظّف عادةً التخطيط لاستخدام الأرض والتمنطق في مراقبة وضبط تغيرات استهلاك الماء في شبكة التوزيع. وللمناخ تأثير محدّد، نظراً إلى أن ريّ المروج العشبية يتطلب احتياجاً رئيساً بالماء في المناطق السكنية في المناطق شبه الجافة.

إن كل نظام توزيع مائي فريد ويتأثر بالظروف المحلية. ونظراً إلى أن قدرة الضخ، وأحجام أنابيب الشبكة، وحجم المخزون، مرتبطة جميعاً ببعضها البعض، فإن الزيادة في واحد منها يمكن أن يعوّض العجز في الباقي. وبالرغم من أن خيارات توسعة أو تعديل نظام مائي، ترتكز على اعتبارات اقتصادية، إلا أنها تخضع إلى حدٍ بعيد لترتيب المرافق القائمة. علاوةً على ذلك، فإن تكاليف الإشادة والتشغيل تتغيَّر مع الزمن. فمثلاً، ونتيجة للكلفة المتزايدة للطاقة أصبحت الأنابيب الأكبر حجماً لتخفيف ضغوط الضخ، وخزانات مخزون أكبر للمساواة بين معدّلات الضخ، خيارات مرغوبة. ولكن وفي جميع الحالات، فإن الأهداف الهندسية الأساسية هي تأمين نمط تدرّج هيدروليكيّ مستقر للمحافظة على ضغط مناسب عبر منطقة الخدمة، وعلى قدرات ضخ وتخزين كافية، لتلبية متطلبات الحرائق والطوارئ كالأعطال الرئيسة وانقطاعات التيار الكهربائيّ. تظهر أنظمة التوزيع المبسطة التالية المبادئ الأساسيّة في التصميم. إذ يظهر (الشكل 6-33أ) شبكة أنابيب شريانيّة لنظام صغير مع محطة ضخ عالية الخدمة وخزان مخزون مرتفع.

يتلقى خزان على مستوى الأرض لدى محطة الضخ الماء إما من محطة المعالجة أو من الآبار مباشرة. وبتوفير أنابيب رئيسة أكبر بين محطة الضخ والخزان المرتفع، يمكن الاحتفاظ بكمية مناسبة من الماء المختزنة للتجهيز باحتياجات الذروة من الماء في المنطقة ضمن النظام المحيطة بالخزان. إن التدرّجَ الهيدروليكيّ في النظام، والناتج من مضخات عالية الأداء، معزز بمنسوب الماء في خزان المخزون المرتفع. تضخ الآبار المنتشرة عبر كامل شبكة الأنابيب والموضحة في (الشكل 6-33ب) الماء مباشرة ضمن النظام في عدّة مواقع، ما يسمح بتركيب أنابيب ذات أقطار أصغر. والوظائف الرئيسة لخزان المخزون هي تثبيت استقرار الضغط والمساواة بين معدّلات الضخ. يتمّ تشغيل الآبار وفقاً لاحتياج تأمين الماء، ويتمّ تركيب مضخات بديلة في عدد كاف من المواقع لتلبية الاحتياج

في حالات الطوارئ. تُستخدم بعض الآبار فقط خلال فترة من السنة، فمثلاً في أوقات فصل الصيف الجاف عندما يبلغ الاستهلاك ذروته. ويتم تعزيزُ التدرّج الهيدروليكيّ بواسطة الآبار قيد التشغيل، وبواسطة منسوب الماء في خزان المخزون.



شكل 6-33: مخطط مبسّط لأنظمة التوزيع. (أ) الضخ عالي الخدمة وخزان المخزون المرتفع يعززان التدرّج الهيدروليكيّ عبر نظام التوزيع. (ب) تعزز الآبار الموزعة عبر شبكة الأنابيب التدرّج الهيدروليكيّ

12-6 تقييم أنظمة التوزيع

الكمية

ينبغي أن يكون مصدر التجهيز بالماء إضافة إلى مرافق المخزون قادرة على تقديم مياهٍ كافية لتلبية كل من الاحتياجات اليوميّة والاستهلاك المتوقع لعشر سنوات

من الآن. وللتقديرات الكمية لاستخدام الماء، فإنه ينبغي توثيق سجلات للمعدل اليومي، ولذروة الاستهلاك اليومي، ولمعدلات ساعات ذروة الاستهلاك خلال السنوات العشر الأخيرة. ويتم تقدير الاحتياجات المستقبلية اعتباراً من هذه القيم ومن عوامل أخرى مرتبطة بنمو المجتمع.

يجب أن تكون كمية الماء الدنيا المتاحة (Minimum Amount of Water Available) من مصدر تجهيز بالماء، كافية دوماً لتقديم خدمةٍ غير متقطعة. وينبغي أن تؤخذ بالاعتبار احتمال تعاقب سلسلة من سنوات جفاف تكافئ أسوأ ما مر من سنوات جفاف سابقة، واحتمال انخفاض مناسيب المياه الجوفية. ومن أجل التجهيز السطحي بالماء، ينبغي أن تكون حدود الفصل المائي الرافدة قادرةً على تقديم الاحتياج اليومي الأقصى لعشر سنوات قادمة. وكقاعدة عامة، فإن القدرة التخزينية لخزان حاجز (Storage Capacity of an Impounding Reservoir) ينبغي أن تكون مساوية لاحتياج 30 يوم على الأقلّ من أيام الاحتياج اليومي الأقصى خلال السنوات الخمس القادمة. ونموذجياً، وفي ما يتعلق بالتجهيز بالآبار (Well Supplies)، فإنه ينبغي أن لا يكون هناك أيّ استثمار للمياه، ومعنى هذا عدم هبوط منسوب المياه الجوفية السكوني ولا القدرة المحدّدة للآبار (gpm لكل قدم هبوط) بشكل كبير بازدياد الطلب. ويفضّل أن تكون هذه القيم ثابتة لمدة خمس سنوات باستثناء تغيرات طفيفة تعدل نفسها خلال أسبوع واحد.

قدرة السحب

ينبغي أن تكون قدرة سحب المياه السطحية (Intake Capacity) كبيرةً بحيث يمكنها تقديم كميات مياه كافية تفي بالاستخدام المدينة ومحطات المعالجة (مثلاً، غسيل مرتدّ للمرشح Filter Back-Washing) خلال أيّ يوم من احتياج الذروة. وبالأخذ بالاعتبار متطلبات انسياب مياه الحرائق، فإن لم يكن هناك مخزون متوفّر

لذلك، فإن قدرة السحب يجب أن تكون كافية لتلبي وبشكل متزامن احتياج إطفاء الحرائق، والانسياب الساعي الأعظمي واحتياجات عمليات المعالجة ضمن محطة المعالجة. ومن جانب آخر، وحيثما كانت كمية مخزون التوزيع كافية لتلبية كل متطلبات انسياب مياه الحرائق، فإن قدرة السحب تتضمّن مقارنة المخزون الكامل في النظام بالكمية الأعظمية للمياه المطلوبة للاحتياجات الحالية والمستقبلية. وينبغي أن تكون أحجام مرافق سحب الماء وقدراتها منتقاة للإيفاء بالاحتياجات المستقبلية الأعظمية المتوقعة خلال خمس سنوات قادمة على الأقل.

ينبغي أن يكون نظام سحب الماء موثوقاً، كما ينبغي أن يكون مموضعاً ومحمياً أو مضاعفاً بحيث لا يحدث أيّ انقطاع في خدمة الزبائن أو في مكافحة الحرائق لأسباب تعود للفيضانات أو لتشكّل الجليد أو لأيّ ظروف مناخية، أو لأسبابٍ تتعلق بالأعطال أو إصلاح المعدات، أو انقطاع التيار الكهربائيّ. وبكلمات أخرى، ينبغي أن تكون مرافق سحب الماء موثوقة بحيث لا يتسبّب أيّ انقطاع في أيّ جزء من المرفق بأي نقص أو تراجع في خدمة تجهيز بالماء للمجتمع.

قدرة الضخ

في نظام تجهيز بالمياه السطحية نموذجي، تقوم مضخات رفع بسيط بنقل الماء من المصدر ونقلها إلى محطة المعالجة. وبعد المعالجة تقوم مضخات رفع عالي بتزويد الماء من مخزون البئر الصافي إلى نظام التوزيع. وفي حال وجود تزويد من مياه جوفية، تقوم المضخات بنقل الماء الخام إلى المعالجة. ولكن إذا لم تكن المعالجة مطلوبة، فإن الآبار قد تطرح مياهها مباشرةً في خطوط النقل الرئيسة. وفي التجمّعات البشرية الكبيرة أو في المناطق ذات الارتفاعات المتباينة طبوغرافياً، قد يتطلب الأمر مضخات معزّزة لزيادة الضغط في شبكة التوزيع ولتوسيع النظام إلى مسافات أبعد اعتباراً من محطة الضخ الرئيسة.

ولاعتبارات ذات صلة متعلقة بكمية مخزون الماء المتوفرة، ينبغي أن يكون لنظام الضخ قدرةً كافية لتأمين كمية الماء تحت ضغوط ومعدلات انسياب مطلوبة لتأمين كل من احتياجي الذروة اليومي والساعي إضافة إلى انسياب مياه الحرائق المطلوب. كما ينبغي أن تكون مرافق الضخ قادرة أيضاً على تلبية الاحتياجات، عند حدوث أعطال شاملة في النظام وعند القيام بمتطلبات الصيانة. فمثلاً، فإن كان لابدّ من الوصول إلى قدرة الضخ الأعظمية المقرّرة ولو خرجت أكبر المضخات من الخدمة. وفي كثير من الحالات، يعتبر مخزون النظام، سواء أكان مرتفعاً أم كان على مستوى الأرض مع وجود مضخات معزّزة، مكوّناً من مكوّنات نظام الضخ لتلبية احتياجات ساعة الذروة.

ينبغي أن تكون مرافق الضخ موثوقة إلى درجة كافية، وذلك عبر مضاعفة الوحدات، وجود معدات بديلة، ووجود مصدر طاقة بديل بحيث لا تحدث أيّ توقفات في الخدمة لأيّ سببٍ من الأسباب. وفي حال انقطاع التيار الكهربائي، فإن المصادر البديلة للطاقة ينبغي أن تكون قادرة على الاستجابة السريعة إلى حد كاف، وذلك لتجنب استنزاف الماء المتوفّر في مخزون التوزيع في أثناء احتياجات ساعات الذروة، بما في ذلك انسياب الماء المطلوب للحريق. وعند وجود أيّ محطات أوتوماتيكيّة معزّزة مهملة، فإنه ينبغي على نظام المراقبة إبلاغ المحطة المركزيّة بظروف تشغيلها وبأيّ انحراف لها عن الوضع الاعتيادي.

شبكة الضخ

ينبغي تصميم خطوط التغذية الشريانية والثانوية للتجهيز بخدمة الماء لمدة 40 سنة منذ تركيبها. إن عمر الخدمة الفعلي المفيد للأنابيب الرئيسة تحت ظروف تشغيل اعتيادية يتراوح بين 50 و100 سنة. وينبغي أن تكون أقطار الخطوط الفرعية .6 in على الأقل في الأحياء السكنية، و.8 in في الأحياء الهامة، و.12 in

عند تقاطع الخطوط الرئيسة. تمد خطوط التوزيع في قالب حديد مشبّك، مع تفادي وجود نهايات مسدودة وذلك عبر إيجاد التفافات حلقيّة ملائمة. ويجب إدخال عدد مناسب من الصمامات لتسمح بتوقف انسياب الماء في حال حدوث كسر أو عطل، بحيث لا يخرج من الخدمة أكثر من كتلة واحدة من الأبنية. ويعتمد توزّع فوهات الحرائق على معايير مكتب خدمات التأمين.

المراجع

1. *Guide for determination of Needed Fire Flow*. 545 Washington Boulevard, Jersey City, NJ: Insurance Service Office. Inc., 2004. (<http://www.iso.com>).
2. *Distribution System Requirements for Fire Protection*. 3rd ed. Denver, CO: American Water Works Association, 1998. AWWA manual; M31 (<http://wwww.awwa.org>).

مسائل

1-6 ما معدّل استعمال الماء في مدن الولايات المتحدة الأمريكية؟ في أيّ الأقاليم يكون استعمال الماء أعظمياً من قبل الزبائن القاطنين، ما هو التأثير الأعظم للاستعمال الزائد للمياه في هذا الإقليم؟

2-6 اعتماداً على قيمة 100 gpcd، احسب الاحتياج اليومي الأقصى، ومتوسط المعدل الساعي الأقصى.

3-6 ما هو مجال ضغط الماء الذي يوصى به في نظام التوزيع؟ ما مقدارا الضغطين الأقصى والأدنى لوصلات خدمات المناطق السكنية؟

4-6 عرف انسياب مياه الحرائق الضروري. استناداً إلى المعادلة 6-4، ضع قائمةً بالعوامل التي يجب أخذها بالاعتبار في تقدير انسياب مياه الحرائق الضروري.

5-6 أعد حساب الـــ NFFs للأبنية في المثال 6-1 وفقاً للتغييرات الآتية: (أ) البناءان يبعدان عن بعضهما البعض .65 in. (ب) بناء بيع المواد الغذائية والمرطبات، ذو بنية إطار خشبي من طابق واحد، وجدارا البنائين يبعدان عن بعضهما 10 ft. (الأجوبة (أ) 2500 gpcd، 2 h، 2000 gpcd، 2 h، (ب) 3500 gpcd، 3 h، 4000 gpcd، 3 h).

6-6 احسب C_i والمدة المطلوبة لعقار سكني مشترك مكوّن من خمسة طوابق وأبعاده 210 x 450 ft. البناء مشاد من تصميم مقاوم للحريق، وكل الفتحات الداخلية الشاقوليّة محمية عبر أبواب مضادة للحريق ذاتية الإغلاق من الفئة B. يلي هذا البناء بناء ثان مطابق له جدران أبعادها 450 ft تحتوي فتحات غير محمية مقابلة بعضها بتباعد 90 ft، إنما دون ممر اتصال. احسب انسياب مياه الحرائق الضروري متضمناً تكشّف البناء الثاني. إذا كانت فوهتا حريق ضمن مسافة 12 ft عن البناء، هل يخفف هذا من مقدار انسياب مياه الحرائق الضروري؟ هل وجود أنظمة ترذيذ أوتوماتيكيّ في الأبنية مبرّر؟

7-6 مطعم من طابقين، أبعاده 105 x 115 ft، تصميمه حجري (غير قابل للاحتراق). يجاور المطعم بناء مكاتب من طابق واحد أبعاده 55 x 75 ft، تصميمه حجريّ (غير قابل للاحتراق). يقابل جدار المطعم البالغ ارتفاعه 115 ft يحتوي على مدخل من تصميم قابل للاحتراق (اتصال مفتوح) الجدار القرميدي الأسود البالغ ارتفاعه 55 ft لبناء المكاتب على بعد 48 ft. تقع فوهتا كل منهما مزوّدة بضخّاخٍ ووصلتي خرطوم، على بعد 200 ft و500 من المطعم وعلى بعد350 ft و450 من بناء المكاتب. احسب انسياب مياه الحرائق الضروري لكلٍ من المبنيين، واحسب المدة المطلوبة، ثم قيّم جوار فوهتي الحرائق.

8-6 سوبر ماركت مكوّن من طابق واحد ذي تصميم عادي أبعاده 130 m x 30 وارتفاع الطابق 3.5 m. يجاوره بناء مكاتب من طابقين ذي تصميم عادي أبعاده 20 x 30 m، وله فتحة شاقوليّة لبئر الدرج. جدار السوبر ماركت البالغ 30 m والمقابل لمبنى المكاتب خالٍ. أما جدار مبنى المكاتب البالغ 20 m المقابل للسوبر ماركت فيحوي نوافذ وأبواب ذات تصاميم قابلة للاحتراق (فتحات غير محمية). تبعد الجدران المجاورة مسافة 0.6 m عن بعضها بعضاً. احسب انسياب مياه الحرائق الضروري لكل مبنى متضمناً تكشّف المبنى الآخر.

9-6 ما مقدار انسياب مياه الحرائق الضروري لمنطقة سكنية لبيوت عائلية مكوّنة من طابق وطابقين بتصميم عاديٍّ مع سقفٍ إسفلتي؟ المسافة الدنيا بين المنازل تبلغ 20 ft. ما هو التباعد المطلوب بين فوهات الحرائق في هذه المنطقة السكنية؟

10-6 ما هو انسياب مياه الحرائق الأقصى الذي يُرجّح أن تكون معظم البلديات قادرةً على تقديمه على نحو موثوق لمكافحة الحرائق؟ كيف يمكن تأمين إخماد الحرائق لمعظم الأبنية التي تحتاج انسياباً ضرورياً لمياه لحرائق أعلى من الحدود العملية هذه؟

11-6 إضافة إلى قدرة التجهيز بالماء، ما هي مكوّنات أنظمة الماء الرئيسة الأخرى التي تمّ تقييم وثوقيّة تلبيتها لمتطلبات احتياج مياه الحرائق؟

12-6 حفر بئر بالحفر الدورانيّ في حامل مائيٍّ مكوّن من رمل فتاتيٍّ غير متماسك. كيف يمكن الاحتفاظ بالبئر مفتوحاً في أثناء الحفر؟ كيف يمكن تطوير البئر ووضعه بالخدمة؟ بعد وضع البئر في الخدمة، ما الذي يمنع حبّات رمل الحامل المائي من الدخول عبر فتحات الغربال مع الماء الجاري ضخها؟

13-6 كيف يمكن لمنهل أسطواني في الشكل 6-2 أن يطرد الأسماك عندما يُركّب في مياه سطحيّة جارية؟

14-6 ما هي أنواع المضخات النابذة التي تُركّب عادةً في محطات ضخ الرفع المنخفض؟ كيف تتم حماية المضخات في المناهل الشاطئية من الحطام الموجود في مياه النهر؟

15-6 لماذا تُعتبر شبكة أنابيب معدّة من الحديد المشبّك أفضل ترتيب لتوزيع الماء؟ ما هي الأحجام الدنيا التي تُستخدم في المناطق السكنية؟ في المناطق التجارية؟ (ارجع إلى الفقرة 6-5 والفقرة 6-2 وإلى مقطع "نظام التوزيع")

16-6 عدّد المكوّنات الرئيسة لوصلة خدمة المياه لمنزلٍ ما.

17-6 أين استخدمت فواصل أنابيب الحديد اللدن الموضّح في الشكل 6-7؟ وكذلك في الشكل 6-8؟ كيف يتم توصيل شبكات أنابيب التوزيع المصنوعة من الـــ PVC؟ ما هي أنواع الأنابيب البلاستيكية المُستخدمة في وصلات الخدمة وفي تمديدات البيوت؟ صف استعمالات الأنماط الثلاثة للأنابيب البيتونية المسلّحة.

18-6 سُجلت قياسات الضغط والانسياب تحت تنوع من ظروف الضخ في محطة رفع عالي، وذلك من أجل جمع بيانات لرسم منحنيات علوّ تصريف المضخّة. وفي ما يأتي ملخص النتائج:

عدد المضخات	علوّ التصريف	معدل الضخ (مليون gpd)
3	210	3.0
3	175	4.6
3	125	6.0
4	200	5.0
4	150	6.8
5	220	6.0
5	200	7.2
5	150	9.0

(أ) حمّل هذه البيانات كمنحنيات علوّ تصريف المضخات الثلاثة، كما هو موضّح في الفقرة 4-4. (ب) افترض أن هذه المنحنيات هي لمحطة الضخ المبينة في الشكل 6-16. ارسم منحني علوّ تصريف النظام للظروف المبينة في الشكل 6-16 كما نُوقش في الفقرة 4-5. (ج) لدى انسيابٍ يوميٍّ أقصى قدره (6.0 mgpd)، كم عدد المضخات العاملة/ وكم يبلغ ضغط التصريف؟ (د) افترض أن المحطة تعمل بأربع مضخات بعلوّ تصريف قدره 175 ft و6.0 mgpd. ماذا يحدث لانسياب التصريف ولظروف الضغط إن توقفت المضخة الخامسة؟ وماذا يحدث إن توقفت مضخة من المضخات الأربع؟

6-19 تُركّب مضخة بئرية توربينيّة شاقوليّة جديدة لتصريف المياه الجوفية مباشرة إلى شبكة أنابيبٍ لتجمّعٍ سكاني صغير. تبلغ بيانات علوّ تصريف التشغيل استناداً إلى المواصفات المحدّدة من الشركة المصنّعة للمضخّة، 210 mgpd لدى علوّ مضخة قدره 170 ft، مقاسة من سطح الأرض، و300 mgpd لدى علوّ مضخة قدره 165 ft، و410 mgpd لدى 150 ft علوّ، و470 mgpd، لدى علوّ قدره 130 ft. يتباين ضغط الماء في شبكة الأنابيب لدى سطح الأرض بين 71 Psi، و48 Psi، بمتوسط ضغط قدره 64 Psi. ارسم منحني علوّ التصريف، وحدد موقع مجال الضغط والقيمة المتوسطة. كم تبلغ قيمة تصريف المضخة مقابل متوسط الضغط 64 Psi.

6-20 سُجّلت قياسات ضغط وانسياب تصريف لمضخة رفع عال لمدينة تحت ظروف ضخ متنوعة، واحتياجات مختلفة للنظام ومناسيب مختلفة للمياه في خزّانات التخزين المرتفعة. واستناداً إلى القياسات، حُددّت منحنيات علوّ التصريف كما يأتي:

استهلاك	تصريف النظام (l/s)	علو النظام لدى مناسيب مياه مختلفة في		
		منخفض	ارتفاع متوسط	تام

ضغط مستقر	0	30	35	40
متوسط شتوي	140	37	42	47
المتوسط السنوي	180	40	45	50
متوسط صيفي	225	45	50	55
أقصى استهلاك يومي	270	50	55	60
أقصى استهلاك يومي واستعمال حرائق	350	60	65	70

يوجد في محطة الضخ عددٌ إجمالي للمضخات ثابتة السرعة يبلغ ست مضخات. المضخات ذوات الأرقام 1 و2 و3 متطابقة مع (bep) تبلغ 100 l/s و45 m، وتطابق 60% (bep) مع 60 l/s و60 m، وتطابق 120% (bep) مع 120 l/s و30 m. المضخات ذوات الأرقام 4 و5 و6 المتطابقة مع (bep) بلغت 150 l/s و60 m، وتطابق 60% (bep) مع 90 l/s، و80 m، وتطابق 120% (bep) مع 180 l/s، و35 m. ارسم منحنيات علوّ تصريف المضخة للتشكيلات التالية للمضخات العاملة على التوازي: المضخة 1 بمفردها، المضخّتان 1 و2، المضخات 1 و2 و3، المضخة 4 بمفردها، المضخّتان 4 و5، المضخات 4 و5 و6. ارسم منحنيات علوّ تصريف النظام على المخطط نفسه. ما المضخات التي سوف تعمل عادةً خلال أيام (أ) متوسط فصل الشتاء، (ب) المتوسط السنوي، (ج)، متوسط فصل الصيف، (د) وفي اليوم الأعظمي؟ افترض أن حجم خزان التخزين مناسب لمعادلة معدّل الضخ في اليوم الأعظمي، مع تخزين احتياطي لاحتياج الحرائق. هل طاقة ضخ المحطة مناسبة؟

6-21 من نتائج المثال 6-3، فإن حجم التخزين المطلوب لمعادلة معدّل ضخ 24 ساعة في يوم الاستعمال الأعظمي للمياه، يبلغ 50000 gal. ما هي النسبة المئوية للاستهلاك الإجمالي لليوم المشار إليه المطلوبة من طاقة التخزين؟ كيف تُقارن هذه القيمة بالنسبة المئوية التقريبية المعطاة في الفقرة 6-7 لموازنة الضخ؟

6-22 يبلغ الاستعمال للمياه في يوم الاستهلاك الأعظمي كالآتي:

الزمن	المتوسط في ساعة	الزمن	المتوسط في ساعة
12 ب.ظ(*)	-	1	6600
1 ق.ظ(**)	2200	2	6400
2	2100	3	6300
3	1800	4	6400
4	1400	5	6400
5	1300	6	6700
6	1200	7	7400
7	2000	8	9200
8	3500	9	8400
9	5000	10	5000
10	6000	11	3200
11	6400	12	2800
12	7000		

(*) ب.ظ = بعد الظهر

(**) ق.ظ = قبل الظهر

ارسم منحني استهلاك – زمن كذاك المبين في الشكل 6-13. احسب قيم الاستهلاك التراكميّة، وارسم مخططاً بيانياً مثلما هو موضّح في الشكل 6-14. (أ) كم يبلغ معدّل الضخ الثابت عبر فترة 24 ساعة؟ احسب طاقة التخزين المطلوبة كنسبةٍ مئويّة من الاستهلاك التراكميّ الإجمالي. (ب) كم يبلغ معدّل الضخ الثابت عبر فترة 12 ساعة وطاقة التخزين المطلوبة لمعادلة الطلب خلال فترة الضخ بين الساعة 6 صباحاً و6 مساءً؟ احسب طاقة التخزين المطلوبة كنسبة مئويّة من الاستهلاك التراكميّ الإجمالي.

6-23 ما الوظائف الرئيسة لتخزين التوزيع؟ في عمليات تقييم تخزين الماء في نظام توزيع، ما كمية طاقة التخزين التي تعتبر متاحة لمكافحة الحرائق؟

6-24 يوجد في نظام مائي لبلدة يبلغ عدد سكانها 900 نسمة أربعة آبار تنتج 400 gpm، 400 gpm، 600 gpm، 8gpm 00، وخزان تخزين مرتفع ذي سعة تبلغ gal 00,0001. يبلغ المتوسط السنوي لاستهلاك الماء، 120000 gpm والاستعمال اليومي الأعظمي للمياه يبلغ 28gpm 0,000. يبلغ الانسياب المطلوب للحريق في المنطقة التجارية 1500 gpm لمدة ساعتين. (أ) بافتراض أنه ليس لهذه البلدة مستخدمين رئيسين للمياه الصناعيّة، هل سيبدو الاستهلاكان المتوسط والأعظمي معقولين؟ (ب) بافتراض أن الأنابيب في شبكة التوزيع مناسبة لنقل الماء من الآبار والتخزين المرتفع إلى المنطقة التجارية تحت ظروف طلب الذروة بدون فقودات كبيرة في الضغط، هل مضخات الآبار بالترافق مع تخزين التوزيع قادرة على الإيفاء باحتياج حريق محدّد دون التسبب بنقص التأمين؟

6-25 ما هي سمات تصميم فوهة حريق تمنع تصريف الماء، في ما لو صُدم البرميل بآلية ما تسبب بكسره؟ لماذا يجري التفتيش على فوهة الحرائق بعد الاستعمال في الطقس البارد؟

26-6 لماذا توجد حجرة استنادية مزوّدة بذراع ثقل موازن على صمام القطع؟

27-6 بالرجوع إلى صمام تخفيف الضغط في الشكل 6-20. اشرح الفعل الهيدروليكيّ للصمام والذي يتسبّب بتخفيف ضغط الماء.

28-6 بالرجوع إلى صمام تخفيف الضغط في الشكل 6-22. افترض أن الصمام الأوتوماتيكي المركب في خط الأنابيب قد تمّ ضبطه ليخفف الضغط من Psi 90 إلى Psi 70. في أيّ اتجاه ينبغي تدوير العجلة اليدوية من أجل تخفيض الضغط الخارج إلى Psi 60؟ اشرح التغيّر الناتج في تشغيل الصمام.

29-6 الصمام الموجّه الظاهر في الشكل 6-23 على قمة صمام ارتفاع مزدوج الفعل، هو صمام ثلاثي الوضعيات. بالرجوع إلى من الشكلين 6-21 و6-23، اشرح كيف يفتح الصمام الموجّه الصمام الكروي أوتوماتيكياً للمحافظة على منسوب الماء في خزان التخزين المرتفع بحيث يبقى أخفض من الارتفاع الأقصى المثبّت مسبقاً.

30-6 يمكن التحكّم بتشغيل مضخات الخدمة - العالية عبر منسوب الماء في خزان التخزين المرتفع. وبانخفاض منسوب الماء في الخزان إلى ما دون الارتفاعات المحدّدة مسبقاً، يمكن تشغيل مضخات خدمة - عالية إضافية، وبالعكس فإنه بارتفاع منسوب الماء في الخزان إلى ما فوق الارتفاعات المحدّدة مسبقاً، يمكن إيقاف مضخات خدمة - عالية منتقاة. كيف يمكن الوصول لمثل هذا التحكّم؟

31-6 ما هو نمط مانعات الانسياب المرتد التي تُركّب عادةً في أنظمة ترذيذ مروج المناطق السكنية؟ وفي أنظمة الريّ االكبرى؟

32-6 يتمّ تحويل بيت كبير إلى مستودعٍ لجثث الموتى. ما هي التدابير الاحتياطية الخاصّة التي ينبغي اعتبارها في تعديل وصلات خدمة الماء السكني الراهنة؟

33-6 اشرح لماذا يُشار إلى مانع الانسياب المرتد المبين في الشكل 6-31 باعتباره مانع انسياب ارتداد رئيس لضغط منخفض. في بناء كبير كمستشفى مثلاً، لماذا يُفضّل تركيب مانع انسياب ارتداد رئيس لضغط منخفض عن الفصل بفجوة هواء؟

34-6 طلب مالك منزل تركيبَ فاصل إخلاء ضغط (شكل 6-29) في قبو المنزل لتجنب سَيفَنَة مُرتدّة من نظام ترذيذ عشب الحديقة. وقد رُفض طلبه. لماذا رُفض الطلب؟ ما هو نمط مانع ارتداد الانسياب المطلوب تركيبه في القبو على ارتفاع أقلّ من ارتفاع نظام الترذيذ؟

35-6 صِف في (الشكل 6-33أ) فوائد تموضع المخزون المرتفع بالقرب من مراكز التحميل بعيداً عن محطة الضخ. كيف يعزز في (الشكل 6-33ب) التدرّج الهيدروليكيّ في أثناء الاستهلاك المرتفع؟

الفصل 7

معالجـــة الميـــاه

إن الهدف من معالجة مياه المدينة هو تأمين تجهيز بمياهٍ قابلة للشرب، أيّ مياه آمنة كيميائياً وميكروحيوياً للاستهلاك البشري. ومن أجل الاستهلاكات المحلية، فإنه يجب أن تكون المياه المعالجة مقبولة جمالياً - أي خاليةً من العكر الواضح، واللون، والرائحة، والطعم غير المحتمل. وتكون عادةً متطلبات النوعية للاستخدامات الصناعية أكثر تشدداً من مثيلتها للتجهيز بالمياه للاستخدامات المحلية. وعلى ذلك فقد يتطلب الأمر معالجة إضافية من قبل الصناعة. فمثلاً، ينبغي للمياه التي تغذي المراجل أن تكون منزوعة الأملاح لتفادي ترسيب القشور.

إن مصادر الماء الشائعة لتجهيز المدن بالماء هي الآبار العميقة، والآبار السطحية، والأنهار، والبحيرات الطبيعية والخزّانات.

إن تلوّث واخضرار الماء (الأترفة Eutrophication) يمثّلان هموماً أساسية في التجهيز بالمياه السطحية. تعتمد نوعية الماء على الممارسات الزراعية لدى حدّ الفصل المائيّ، وموقع صبيب الصرف المدني والصناعيّ، وتطوير الأنهار كالسدود مثلاً، والفصل من السنة، والشروط المناخية. في أثناء فترات الهطول المطري الغزير يُغسل الطمي والمواد العضوية من الحقول المستصلحة وأراضي الغابات، وقد يتسبّب انسياب الماء في أثناء الجفاف بتراكيز عالية لملوّثات مياه الصرف عبر طرح مياه المجاري بها. وقد تتباين درجات حرارة الأنهار من الصيف إلى الشتاء على نحو معتبر. وتعتمد نوعية الماء في البحيرات والخزّانات إلى حد بعيد على

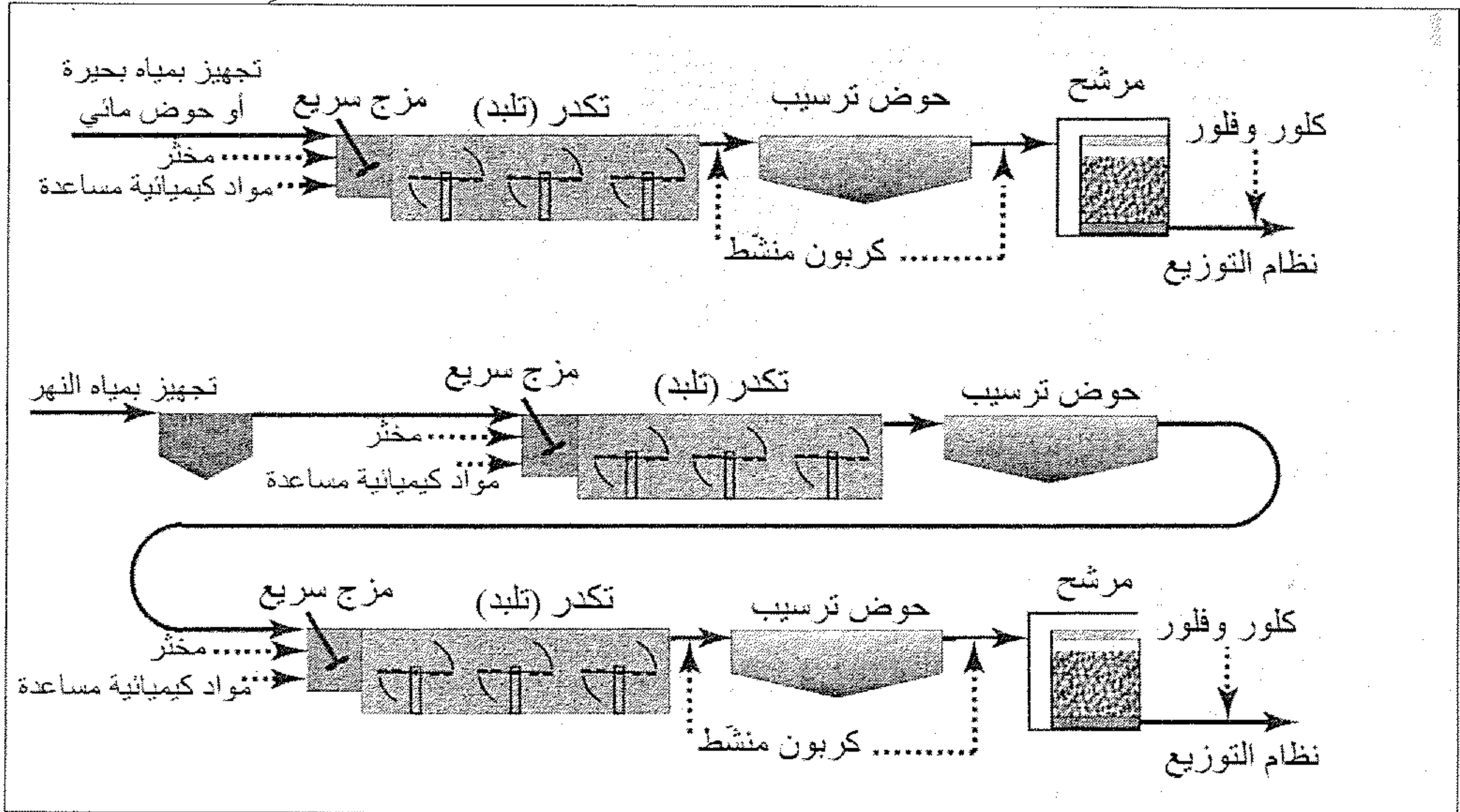
الفصل من السنة. وتبدأ عملياً مراقبة نوعية الماء مع إدارة حوض النهر لحماية مصدر التجهيز بالماء. وتكون معالجة الماء شديدة التلوّث صعبة ومكلفة. وبالرغم من أن بعض التجمّعات السكانيّة قادرة على تحديد تجهيز بالمياه الجوفيّة، أو استبدال مصادر الماء الملوّثة بمصادر مياه سطحية أقل تلوّثاً ضمن مسافة ضخ ممكنة، إلا أن أغلبية السكان يستجرون احتياجاتهم من تجهيزات بالمياه السطحية المجاورة. يتمثّل تحديد تشغيل المنشآت المائيّة في معالجة هذه المياه لتحويلها إلى منتج قابل للشرب ومقبول للاستخدام المحلي.

1-7 معالجة المياه السطحية

المعالجة (Treatment) الرئيسة في معالجة المياه السطحية هي التنقية الكيميائية (Chemical Clarification) عبر التخثّر (Coagulation)، والترسيب (Sedimentation)، والترشيح كما هو موضّح في الشكل 7-1. تتمتع مياه البحيرات والخزّانات بنوعية مياه متجانسة على مدار السنة وتتطلب درجة أقلّ من المعالجة مقارنة بمياه الأنهار. تتسبب التنقية الطبيعية بتخفيف العكورة والبكتيريات القولونية، واللون، والتغيرات التي تحدث من يوم لآخر. ومن جانبٍ آخر يتسبّب نمو الطحالب بزيادة العكورة وقد تتسبب بطعمٍ ورائحة في الصيف والخريف يصعب التخلص منهما. ويعتمد نوع المواد الكيميائية المحدّدة المُستخدمة في التخثير لإزالة العكورة على طبيعة المياه وعلى الاعتبارات الاقتصادية. إن أكثر المخثّرات شيوعاً هي الشبّة (كبريتات الألمنيوم)، وكمساعد تخثّر، فإن المادة الكيميائية الشائعة الاستخدام للقيام بهذا الدور هي البوليميرات التركيبية. كما يستخدم الكربون المنشّط لإزالة المواد المسببة للطعم والرائحة، بينما يُعتبر الكلور والفلور مادتين كيميائيتين لما بعد المعالجة. وقد تُستخدم الكلورة المسبقة لتعقيم المياه الخام على ألا يتسبّب ذلك بتشكّل مواد تعقيم جانبية.

يتطلب التجهيز بمياه الأنهار عادة، أكبر مرافق معالجة وأعلى مرونة تشغيل، وذلك للتعامل مع التغيّرات من يوم إلى آخر التي تطرأ على نوعية المياه الخام.

والخطوة التمهيدية هي عادةً ترسيب مسبق لتخفيف الطميّ والمواد العضوية القابلة للترسيب وذلك قبل المعالجة الكيميائيّة. وكما هو موضّح في الشكل 7-1 فإن الكثير من محطات معالجة مياه الأنهار ذات مرحلتي تخثير وترسيب كيميائيين بهدف تأمين معالجة أشدّ تأثيراً وأعلى مرونة. ويمكن تشغيل وحدات المعالجة مجتمعة على التسلسل أو بشكل منفصل، بحيث يتم إزالة عسرة الماء في مرحلة، والتخثير في مرحلة أخرى. ويمكن استخدام ما يزيد على عشرة مواد كيميائية مختلفة تحت ظروف تشغيل مختلفة لتأمين مياه جاهزة للاستعمال على نحو مُرضٍ.

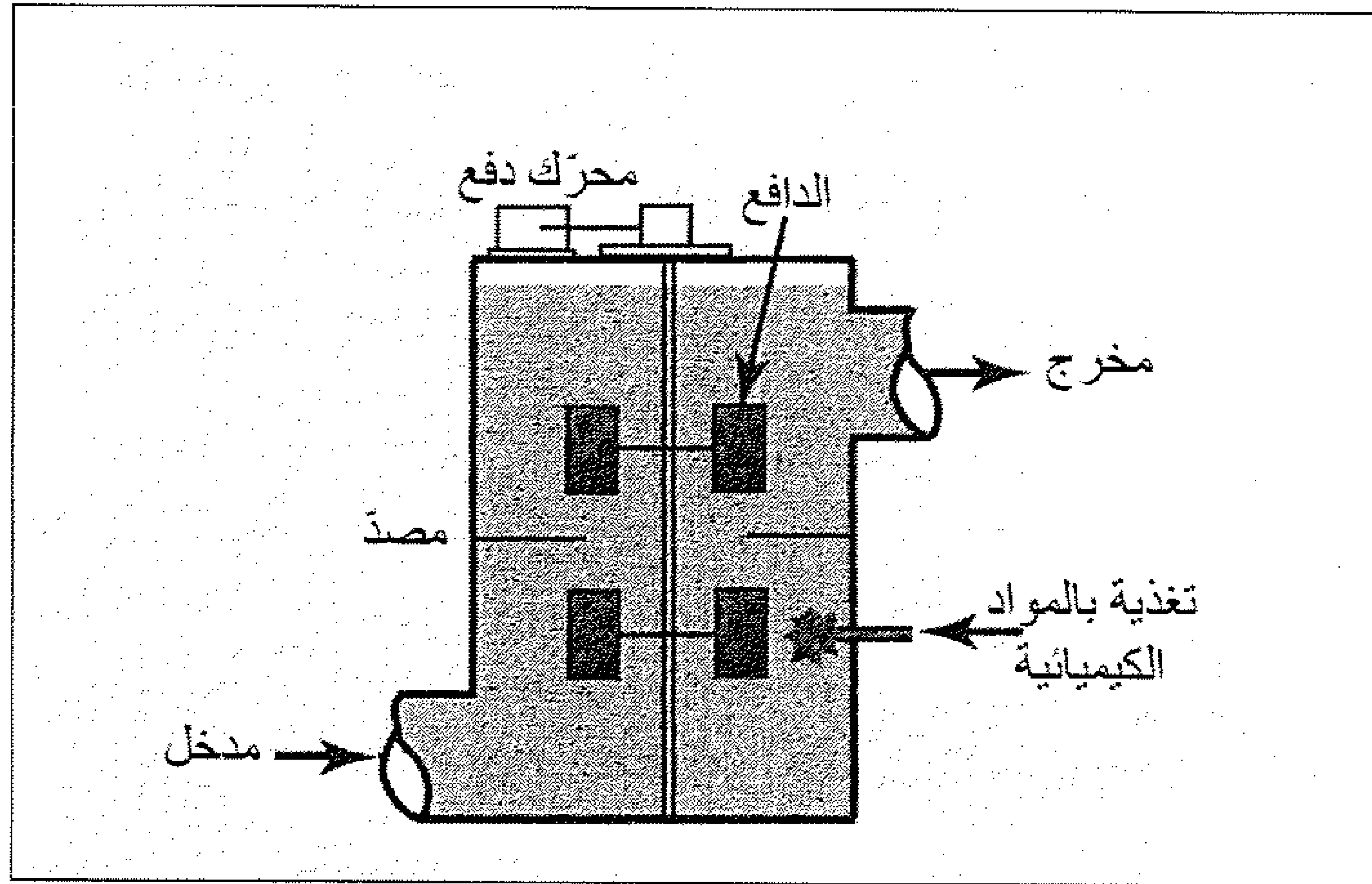


شكل 7-1: أنماط تخطيطية لأنظمة معالجة مياه سطحية تقليدية

7-2 المزج والتلبّد

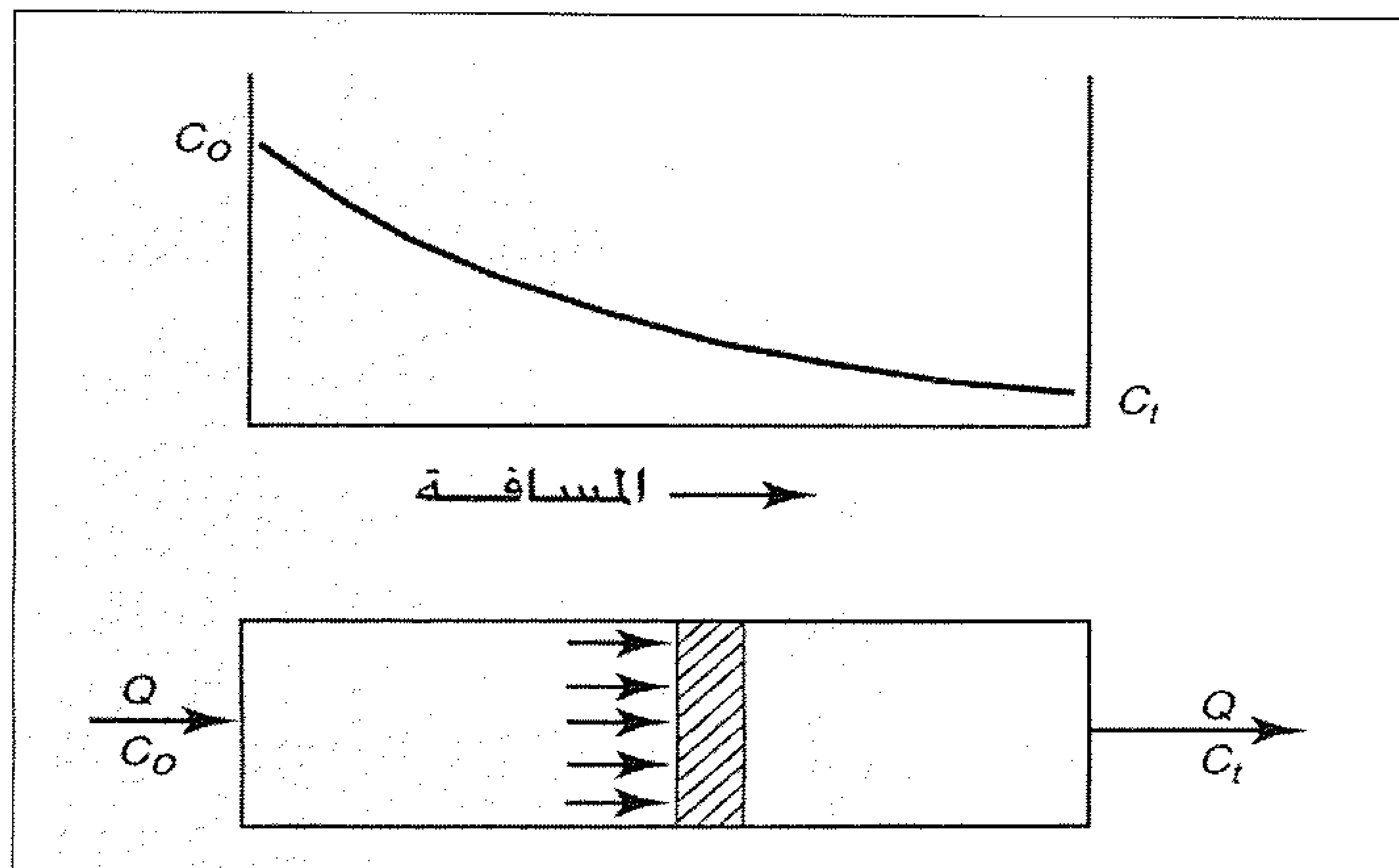
يؤمن المزج السريع في أثناء معالجة الماء تشتتاً للمواد الكيميائية بحيث يحدث الانحلال خلال 10 إلى 30 ثانية. والمزج الأكثر شيوعاً هو المزج الميكانيكي كما هو مبين في الشكل 7-2، ويتم ذلك باستخدام قضيب دفّاع ضمن خزان ذي مصدات ساكنة لتخفيف الحركة الدوامية حول القضيب الدفّاع. تمنع الحركة الدوامية المزج وتقلّل من الاستفادة من قوة الدفّاع. وهناك طرق أخرى للمزج السريع كالمروحة

الدافعة المعلّقة (Vertical Shaft Impeller)، وأداة المزج السكوني (Stator Baffles) والتي تدخل في الأنبوب لتحقيق مزج خطي، والمزج الهيدروليكيّ والذي يتم عبر حقن مواد كيميائية في مدخل مضخة نابذة.



شكل 7-2: حجرة مزج سريع مع دفّاعات لتشتت سريع للمواد الكيميائية في الماء الخام قبل التخثير

وفي أنظمة الانسياب الحاجز، تنساب المياه على امتداد حجرة طويلة بمعدل متجانس وبدون اختلاط. وتتناقص تراكيز المواد المتفاعلة على امتداد الانسياب بحيث تبقى ضمن سدادة افتراضيّة من الماء متحرّكة عبر الحوض (شكل 7-3).



شكل 7-3: انسياب حجز نمطي، حددت الرموز من المعادلة 7-1

وتحت ظروف حالة ثابتة، تعطى العلاقة بين زمن الاحتفاظ (Detention Time) والتركيز، بتطبيق حركية الترتيب الأول (First-Order Kinetics) بالمعادلة 7-1. وفي التطبيق العملي، يكون الوصول إلى انسياب الحاجز المثالي صعب، نظراً إلى قصر الانسياب (Short-Circuiting) وللامتزاج الناتج من مقاومة داخلية (Frictional Resistance) على امتداد الجدران، ولتيارات الكثافة (Density Currents)، وللانسياب المضطرب (Turbulent Flow). لقد صممت أحواض التلبّد (Flocculation Basins) بالمعالجة الكيميائية للمياه (Chemical Water Processing)، كوحدات انسياب ساد (Plug-Flow Units)، مستخدمة المصدات (Baffles) لتقليل انقطاع الانسياب.

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{L}{v} = \frac{1}{k} \left(\log_e \frac{C_0}{C_t}\right) \qquad \textbf{(1-7)}$$

t = زمن الاحتفاظ

V = حجم الحوض

Q = كمية الانسياب

L = طول الحوض المستطيل

v = السرعة الأفقية للانسياب

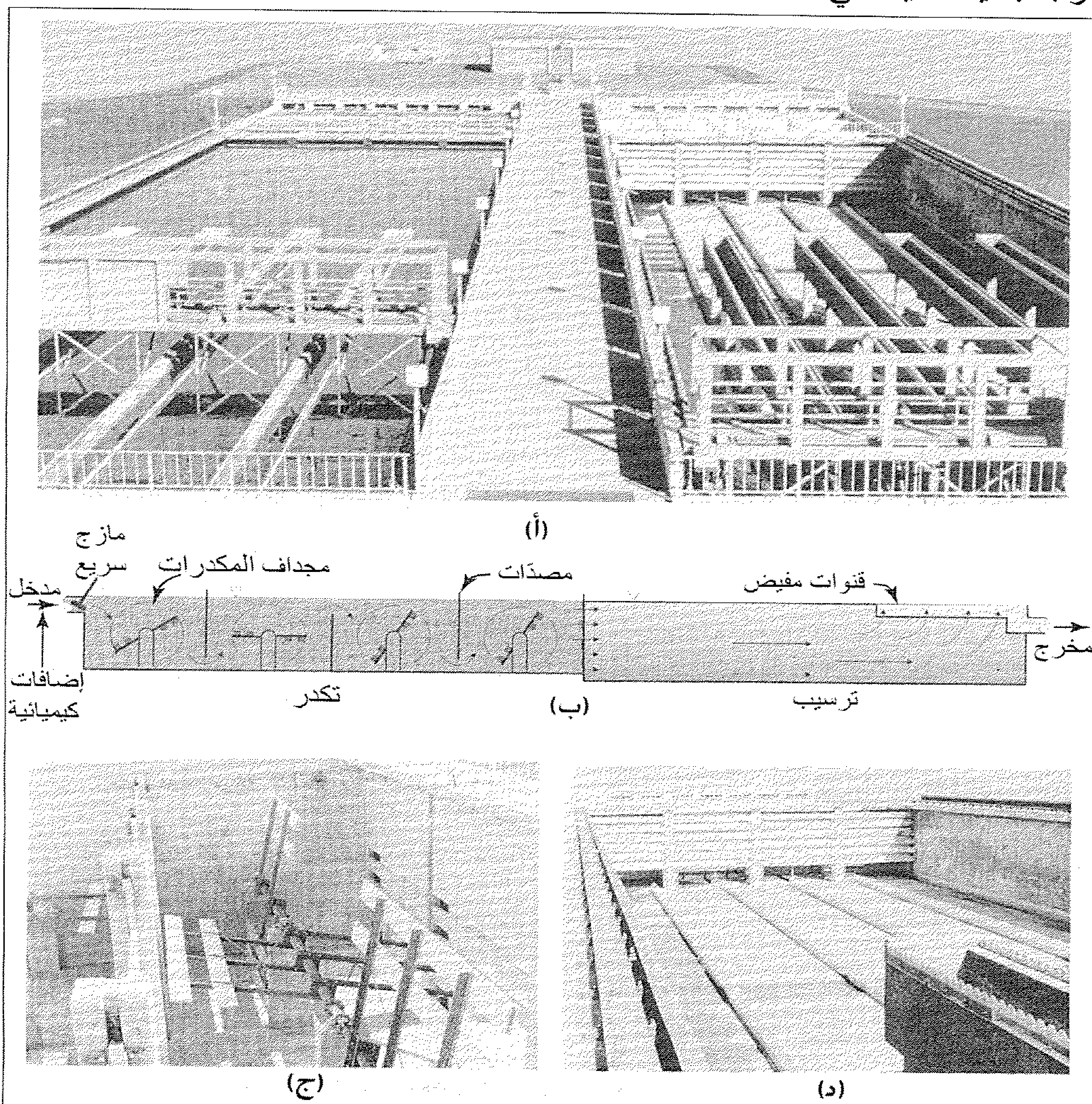
k = ثابت المعدل لحركية الترتيب الأول

C_O = تركيز المواد المتفاعلة الداخلة في الانسياب الداخل

C_t = تركيز المواد المتفاعلة الخارجة في الانسياب الخارج

يمثل الشكل 7-4 محطة معالجة خطية متسلسلة مكوّنة من مزج سريع، تلبّد وترسيب. يتم ضخ المياه الخام المسحوبة من الحوض المشاهد أعلى الصورة عبر مازجين سريعين للإضافات الكيميائية ومن ثم إلى خزّانات التلبيد. لقد كان نصف المحطة الأيسر فقط قيد العمل في أثناء التقاط الصورة. إن ترتيب خزان التلبيد هو

مجاديف خشبية مثبتة على عمود أفقي في سلسلة من الحجرات منفصلة بمصدات تقوم بتوجيه الانسياب عبر الملبّدات المجدافية (شكل 7-4ب) ويظهر الشكل (شكل 7-4ج) ملبّداً مجدافياً (Paddle Flocculator). وخلال التلبّد، تمزج المياه المعالجة مزجاً بطيئاً لطيفاً كي تشكّل كتلة متلبّدة كبيرة قابلة للترسب.



شكل 7-4: مزج سريع خطي، تكدّر وترسيب في معالجة الماء

ويمكن التحكّم بالسرعة الدورانية لكل مرحلة من الملبّدات بواسطة محرّك متغير السرعات (Variable- Speed Drive) لتأمين مزج بطيء مثالي. تمر من

بعدها الماء عبر شقوق جدار المصد إلى خزان الترسيب حيث تنساب ببطء إلى قنوات المفيض عند نهايات الطّرح (شكل 7-4د). وحيث إن هذه المحطة مشادة في منطقة ذات مناخ دافئ، تكون الخزّانات في الخارج ويتم تنظيف الحمأة المترسبة إلى نهاية الخزان بواسطة لوح مجدافيّ (Blade) معزز بجسر (Bridge) يمتدّ عبر الخزان ويتحرك على سكة (Rails) إلى الطرف الثاني من الخزان.

ويوصى قرار نظام العمل بالمياه *"Recommended Standards for Water Works"*[1] أن يتم مزج سريع لتشتيت المواد الكيميائية عبر كامل الماء بأدوات مزج ميكانيكيّة وبزمن احتفاظ لا يزيد على 30 sec. لقد وُضعت هذه التوصيات بالنسبة لأحواض التلبّد كالآتي:

1- يجب أن يحول المدخل والمخرج بدون انقطاع الانسياب وبدون تخرب الكدرة (Floc).

2- ينبغي ألاّ تقل السرعة الدنيا للانسياب عن 0.5 ft/min وأن لا تزيد على 1.5 (2.5 إلى 7.5 mm/sec) بزمن احتفاظ لتشكّل الكدرة حده الأدنى 30 min.

3- ينبغي أن تدار الخضّاضّات (Agitators) بواسطة محرّك متغير السرعات بحيث تتراوح السرعة المحيطية للمجاديف بين 0.5 و3.0 ft/min (0.15 mm/sec إلى 0.91). يجب أن تكون أحواض التكدر – الترسيب (Flocculation and Sedimentation Basins) قريبة من بعضها بعضاً ما أمكن. كما ينبغي أن لا تقل سرعة المياه المتكدرة عبر القنوات إلى أحواض الترسيب عن 0.5 ft/sec وأن لا تزيد على 1.5 ft/sec (m/sec إلى 0.45). ينبغي أيضاً أن يتم تقسيم الانسياب إلى حصص بهدف التقليل من الاضطراب عند المنحنيات وعند تغيّر اتجاه الانسياب.

مثال 7-1

استناداً إلى دراسات مخبريّة وجد أن ثابت المعدل لتفاعل تخثّر كيميائيّ من حركية الترتيب الأول بقيمة لـــ k تبلغ 75 باليوم. احسب زمن الاحتفاظ المطلوب

في مفاعل ذي انسياب ساد، وذلك لإنقاصه بنسبة 80%. علماً أن $C_O = 200$ mg/l و $C_t = 140$ mg/l.

الحل

من أجل جريان ساد نعوّض في المعادلة (1-7)

$$t = \frac{1440}{75} = \frac{200}{40} = 19.2\ (2.3 \log 5)$$

$$= 19.2 \times 2.3 \ \ x\ 0.7 = 31 \text{ min}$$

3-7 الترسيب

الترسيب أو الترويق (الإبانة) (Sedimentation Clarification) هو إزالة المواد الجزيئية، والكدرات الكيميائيّة، والترسبات من المعلّقات عبر ترسيب الثّقالة. والمعايير الشائعة في تحديد أبعاد أحواض الترسيب هي زمن الاحتفاظ (Detention Time)، معدّل المفيض (Overflow Rate)، وحمولة السد (Weir Loading). وفي ما يتعلق بالخزّانات المستطيلة يضاف معيار هو السرعة الأفقية.

يتم حساب زمن الاحتفاظ والذي يعبر عنه بالساعات عبر تقسيم حجم الحوض على معدّل الانسياب اليومي، المعادلة 7-2

$$t = \frac{V \times 24}{Q} \qquad (2\text{-}7)$$

حيث

t = زمن الاحتفاظ بالساعات

V= حجم الحوض، mil gal، أو (m^3)

Q = معدّل الانسياب اليومي gpd أو (m^3/d)

24 = عدد الساعات باليوم

يساوي معدّل المفيض (حمولة السطح) إلى ناتج قسمة معدّل الانسياب اليومي مقسوماً على مساحة سطح حوض الترسيب الكليّة، مُعبّراً عنه بـــ gpd/sq ft، معادلة 7-3

$$V_O = \frac{Q}{A} \tag{3-7}$$

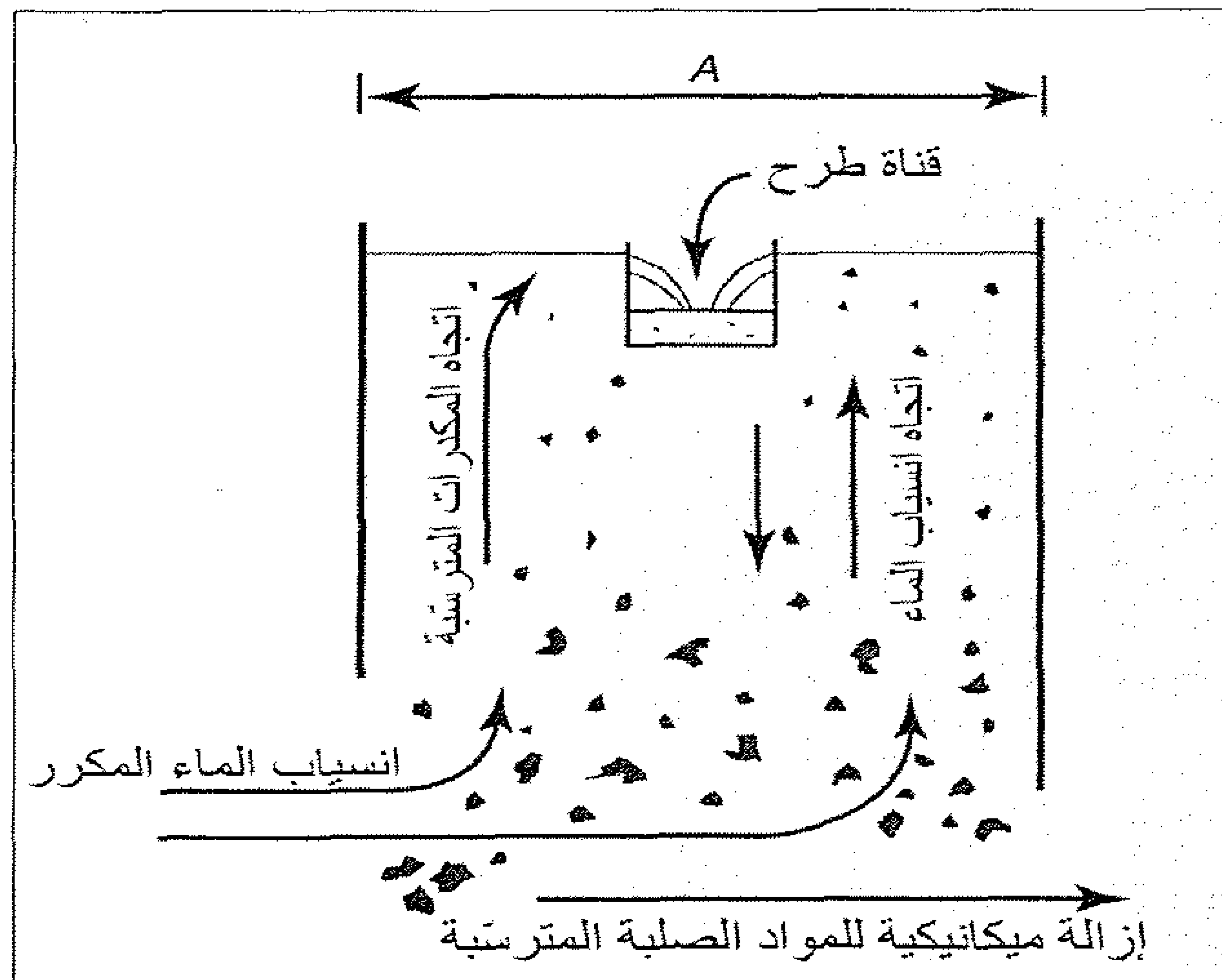
حيث:

V_O = معدّل المفيض (حمولة السطح) $(m^3/m^2.d)$ gpd/sq ft

Q = معدّل الانسياب اليومي (m^3/d) gpd

A = مساحة سطح حوض الترسيب الكليّة، ft^2 (m^2)

إن معظم أحواض الترسيب في معالجة الماء هي من حيث المبدأ عبارة عن أحواض ترسيب ذات تيارات صاعدة بحيث ترتفع الماء شاقولياً لتُصرف عبر قنوات الطّرح. ومن ثم فإنه يمكن للحوض النموذجي الموضّح في الشكل 7-5 أن يُستخدم لأغراض إيضاحيّة. تنساب الماء أفقياً عبر الحوض ثم ترتفع عمودياً لتفيض على السدّ إلى قناة الطّرح عند سطح الخزان. تترسب جسيمات الكدرات نحو الأسفل باتجاه معاكس لاتجاه انسياب الماء نحو الأعلى، وتُزال من قاع الحوض عبر جهاز إزالة الحمأة بشكلٍ ميكانيكي ومستمر. تُزال الجسيمات التي لها سرعة ترسب v أعلى من معدّل المفيض Q/A، بينما تُحمل الكدرات التي لها سرعة ترسب v أقلّ من معدّل المفيض Q/A مع طرح الحوض (Basin Effluent).



شكل 7-5: خزان ترسيب نموذجي. الرموز موضحة بالمعادلة (7-3)

تحسب حمولة السدّ عبر تقسيم معدّل كمية مياه الانسياب على الطول الكلّي لسد الطّرح والتعبير عنه بـــ gpd/ft ($m^3/m^2.d$).

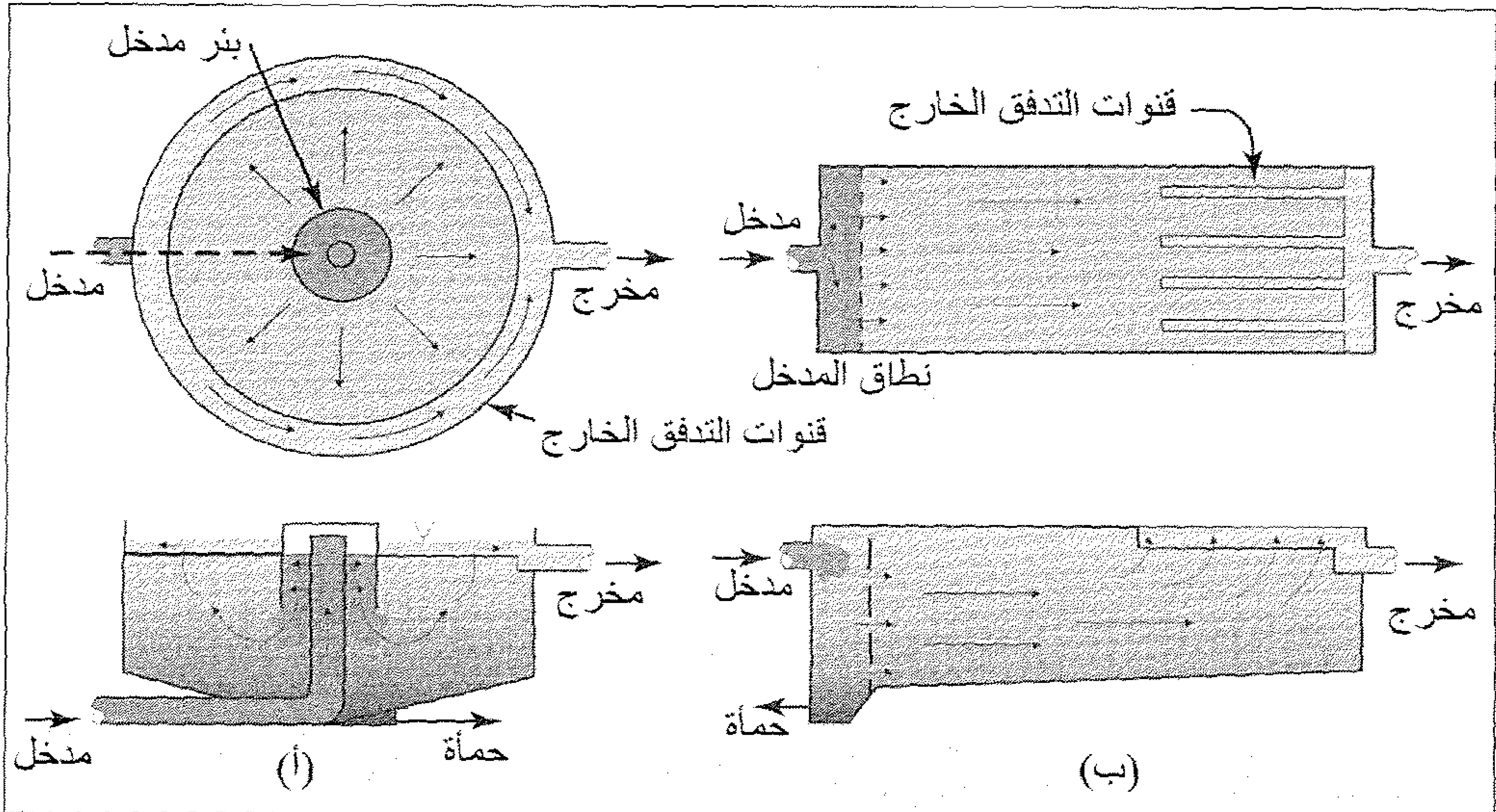
تصمّم أحواض الترسيب سواء أكانت مستديرة أم مستطيلة لحركة مياه متجانسة وبطيئة مع جعل انقطاع الانسياب في حده الأدنى. ففي خزان مستدير، كما هو موضّح في الشكل 7-6أ، يدخل التدفّق الداخل إلى الخزان عبر أنبوب رفع شاقولي في المركز مع وجود فتحات طرح خلف بئر مدخل دائري. يشتّت هذا المصد السرعة الأفقية وذلك بتوجيه الانسياب نحو الأسفل، يجمع الانسياب الشعاعي في قناة طرح المفيض الملحقة بالجدار الخارجي بواسطة سدٍ مثلوم على شكل حرف V اللاتيني (V-Notch Weir) مركّب على امتداد حافة القناة. يتم دفع المواد الصلبة المترسبة بواسطة مجاديف كاشطة (Scraper Blades) إلى وعاء قمعي مركزيّ (Central Hopper) للطرح. يمكن لكاشط أن يدار بواسطة طاولة دوّارة (Central Turntable) مدعومة بجسر عائم أو برصيف دعامة (Pier). وفي المناخات الحارة حيث لا يوجد ثلج ولا جليد فيمكن أن تُدار حول ترس مسنن معشق بمحيط الجدار الداخلي للخزان (Peripheral Wall).

وفي معالجة الماء، تكون عموماً معظم أحواض الترسيب مستطيلة، كما هي موضحة في الشكل (7-6ب)، يتم توزيع التدفّق الداخل عبر الحوض حتى نهايته وذلك بواسطة بنية حاجزية سادة (Baffle Structure) تقلّل من سرعة التدفّق وتوزّع الانسياب بشكلٍ متجانس على قنوات طرح المفيض (Effluent Overflow Channels) الملحقة بالجدار الخارجي بواسطة سدود مثلومة على شكل حرف V اللاتيني مركبّة على امتداد الحواف. تكون عادةً قنوات طرح المفيض قنوات أصبعية ("Finger" Channels) طويلة تمتد عبر الحوض كي تزيد من طول السدود، ومن ثم تقلّل من السرعة الشاقوليّة نظراً إلى ارتفاع الماء إلى قنوات المفيض. يتم إزالة الحمأة بواسطة كاشطات ملحقة بسلاسل تدعمها وتدورها عجلات مسننة مركبّة على الجدران الداخلية للخزان. ففي المناخ الحار يمكن

للكاشطات أن تكون معلّقة ومدلاة في الماء من جسرٍ علوي (Overhead Bridge) يمتدّ عبر عرض الخزان. وتتحرك عجلات الجسر على سكك فولاذية مركبّة على الجدران الجانبية الداخلية (شكل 7-4).

أما في ما يتعلق بأحواض الترسيب فإن قرار نظام العمل بالمياه *Standards for Water Works* يوصي بزمن احتفاظٍ لا يقلّ عن أربع ساعات، يمكن أن ينخفض إلى ساعتين مقروناً بالموافقة وذلك إن ثبتَ التوصل إلى ترسيب فاعل مكافئ خلالها.

إن السرعة الأفقية الأعظمية الموصى بها عبر حوض الترسيب هي 0.5 ft/min (2.5 mm/s)، وحمولة السدّ الأعظمية 20000 gpd/ sq ft من طول السدّ (250 m^3/m·d). ومعدل المفيض يكون عموماً في مجال 500 و 800 gpd/sq ft (20 إلى 33 m^3/m^2.d).



شكل 7-6: مخططات عرضية ومساقط لخزانات الترسيب المُستخدمة في معالجة الماء. (أ) خزان دائري، تدخل فيه الماء من خلف بئر مدخل دائري وتنساب شعاعياً إلى قناة طرح حول محيط الخزان. (ب) وفي خزان مستطيل الشكل تدخل الماء إلى نطاق المدخل للتوزيع، لتنساب أفقياً عبر الخزان، وترتفع إلى المفيض عبر قنوات الطّرح.

ويمكن تركيب أحواض ما قبل الترسيب بهدف فصل المواد الصلبة الثقيلة من مياه الأنهار الموحلة بترسيبها قبل التكدر الكيميائي والترسيب. وعموماً تُستخدم

أحواض ترسيب دائرية مزوّدة بقيعانٍ قمعية الشكل وأذرعة كاشطة للحمأة الثقيلة (Heavy Sludge). والمعيار الموصى به لزمن الاحتفاظ لا يقل عن 3 min.

توزّع زمن المكوث

تتحدد الخصيصة الهيدروليكية لخزان حقيقيٍّ فعلي بتوزّع زمن المكوث (Residence-Time Distribution) لجسيمات سائل ينساب عبر الخزان. ونظراً إلى كون طرق عبور الخزان تتباين بأزمنة العبور، فإن توزّع عمر التدفّق لمفاعلٍ غير نموذجي (Nonideal Reactor) يمكن أن يمتدّ عبر مجال ممتد من قيمة أدنى من زمن الاحتفاظ النظري إلى قيمة أعلى منه، كما هو محسوب في المعادلة 7-3.

إن تقييم خزان عمليات فعليّة (تكدر، ترسيب، أو كلورة) (Flocculation, Sedimentation, or Chlorination)، يتم عبر إدخال قفّاء (Tracer) إلى الانسياب الداخل في أثناء انسياب حالة مستقرة وقياس التركيز في التدفّق الخارج عبر فترة طويلة من الزمن. ويوضح الشكل 7-7 الأشكال العامة لتوزعات زمن المكوث لمفاعل انسياب سادّ مشتت (Dispersed Plug-Flow Reactor). فإن أدخلت جرعة القفّاء بشكلٍ مفاجئ ثم تمت المحافظة على معدّل تطبيقه بشكلٍ ثابت، فإن منحني خروج القفاء في التدفّق الخارج سيرتفع تدريجياً ليقارب تركيز دخول القفاء C_O في فاصلٍ زمنيٍّ أكبر من معدّل زمن المكوث t_R. يتسبّب تطبيق إدخال نبضيّ (Pulse Input) لمحلول صبغة ملونة بتشكّل منحني تركيز القفاء في تدفّق الخروج موضّح بالشكل 7-7 ب. يقع المركز المتوسط للمنحني إلى يسار الزمن t_{50} نتيجة تشتّت الانسياب (Flow Dispersion) مع مزجٍ مرتدّ (Backmixing) وانقطاع المحلول في الخزان بسبب تشكّل جيوب راكدة (Stagnant Pockets).

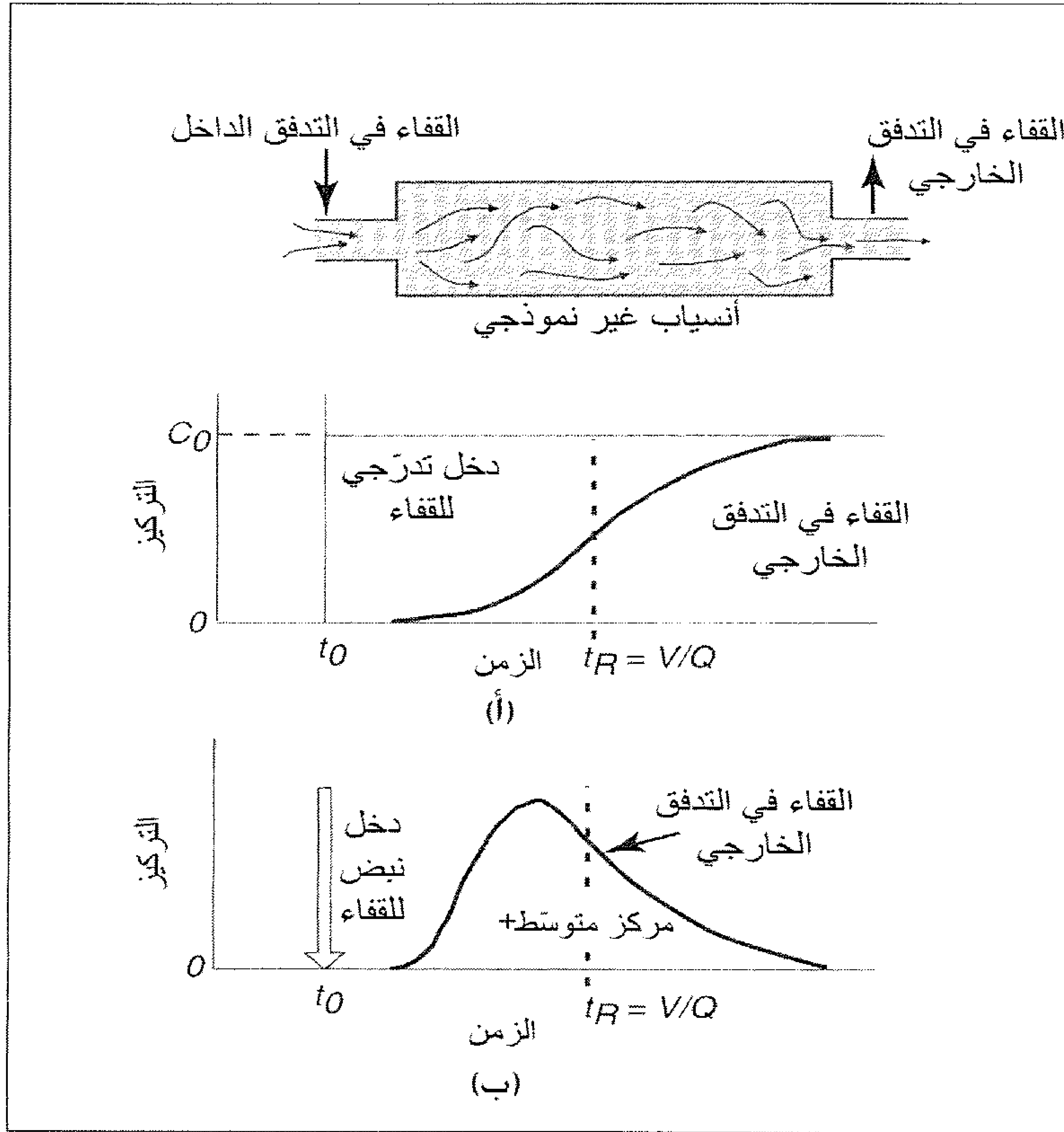
يساوي متوسط زمن المكوث، المحسوب من بيانات تجريبية لإدخال نبضي لقفاء، مجموع قيم تراكيزه عبر الزمن مقسومة على مجموع التراكيز

$$t_{50} = \frac{\sum t_i \ C_i}{\sum C_i} \qquad (4-7)$$

حيث t_{50} = متوسط زمن المكوث (الزمن إلى المركز المتوسط)

t_i = الزمن الفاصل بين حقن الصبغة وجمع عينة التدفّق الخارج

C_i = تركيز الصبغة في عينة التدفّق الخارج التي تمّ جمعها عند t_i



شكل 7-7: منحنيات التوزّع عبر الزمن لتدفّقٍ خارج لانسيابٍ عبر خزان غير نموذجي استجابة لــ (أ) إدخال مستمرّ لقفاء و(ب) إدخال نبضي لقفاء

مثال 7-2

لكل نصف من نصفيّ محطة معالجة خطية موضّح في الشكل 7-4 وحدات الأحجام الآتية: حجم حجرة المزج السريع 855 cu ft، خزان تكدير (Flocculation

Tank) عرضه 58 ft طوله 140 ft وعمق المحلول فيه 14.5 ft وخزان ترسيب عرضه 140 ft طوله 280 ft وعمقه 17.0 ft. وطول سد التدفّق على امتداد القنوات الأربع ونهاية الخزان 1260 ft. احسب المتحوّلات الرئيسة المُستخدمة لقياس هذه الوحدات اعتماداً على انسياب تصميم قدره 40 mgpd لكل نصفٍ من نصفيّ المحطة. قارن بين القيم المحسوبة مع قيم *Standards for Water Works*

الحل

الانسياب = 40.0 mgd = 2780 gpm
= 5348000 cu ft/day
= 3710 cu ft/min

زمن الاحتفاظ في التكدر في المازج السريع:

$$t = \frac{855 \text{ cu ft}}{3710 \text{ cu ft/min}} \times 60 \frac{\text{sec}}{\text{min}}$$

$$= 14 \text{ sec } (<30 \text{ sec OK})$$

زمن الاحتفاظ والسرعة الأفقية في التكدّر:

$$t = \frac{140 \, ft \times 58 \, ft \times 14.5 \, ft}{3710 \, cu \text{ ft/min}}$$

$$= 32 \text{ sec } (> 30 \text{ sec OK})$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3710 \text{ cu ft/min}}{140 \text{ ft} \times 14.5 \text{ ft}}$$

$$= 1.8 \text{ ft/min } (> 1.5 \text{ ft/min})$$

زمن الترسيب والسرعة الأفقية:

$$t = \frac{140 \, ft \times 280 \, ft \times 17 \, ft}{3710 \text{ cu ft/min}}$$

$$= 3 \text{ hr } (< 4 \text{ hr}) \text{ gal day}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3710 \text{ cu ft min}}{140 \text{ ft} \times 17.0 \text{ ft}}$$

$$= 1.6 \text{ ft/min } (> 0.5 \text{ ft/min})$$

حمولة السد:

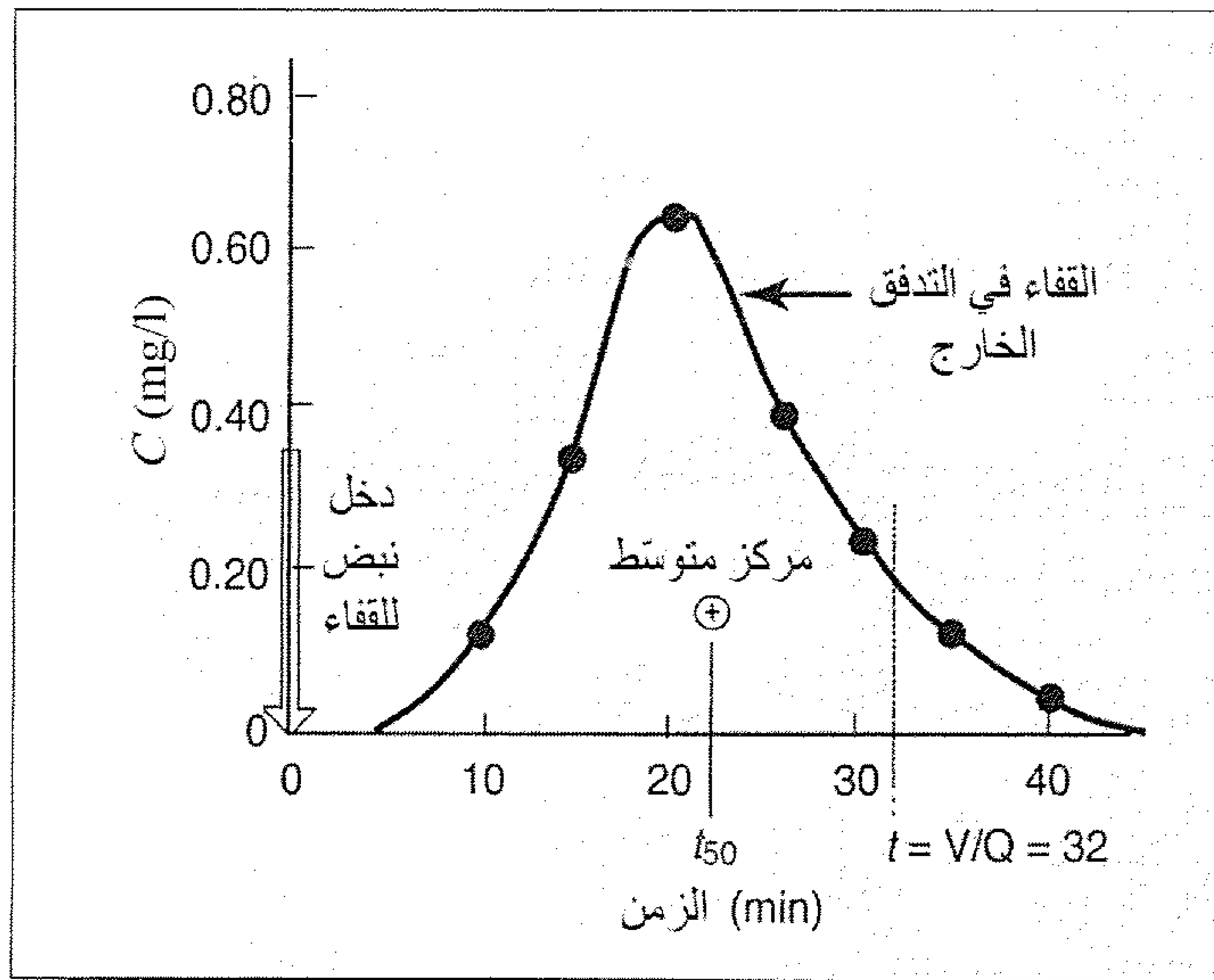
$$= \frac{40.000.000 \text{ gal/day}}{1260 \text{ ft}}$$

$$= 32000 \text{ gpd/ft} \ (< 20000 \text{ gpd/ft})$$

معدل المفيض:

$$V_0 = \frac{40.000.000 \text{ gal/day}}{140 \text{ ft} \times 280 \text{ ft}}$$

$$= 1020 \text{ gpd/sq ft}$$



شكل 7-8: منحني زمن المكوث للمثال 7-3

مثال 7-3

تم تحليل انسياب سد مشتت عبر خزان تكدير بالمصدات (شكل 7-4ب)، وذلك لتقدير منحني توزّع زمن المكوث (شكل 7-8)، وذلك عبر حقن نبضة من صبغة قفّاء في التدفّق الداخل، ومن ثم قياس تراكيز القفاء في التدفّق الخارج في فواصلٍ زمنية قدرها 5 min بعد الحقن، كما هو موضّح أدناه. ارسم منحني توزيع القفاء وذلك عبر رسم C مقابل t وتحديد المركز المتوسط اعتماداً على البيانات الآتية:

الحل

من بيانات القفاءات الآتية، احسب t_{50} باستخدام المعادلة 7-4.

(min . mg/l) $t_i\ C_i$	(mg/l) C_i	(min) t_i
0.00	0.00	5
1.0	0.10	10
5.2	0.35	15
13.0	0.65	20
10.0	0.40	25
6.6	0.22	30
3.8	0.11	35
2.0	0.05	40
0.0	0.00	45
41.6	1.88	
المركز المتوسط t_{50} = 41.61/1.88 = 22 min		

إن زمن الاحتفاظ المحسوب من المثال7-2 هو 32 min.

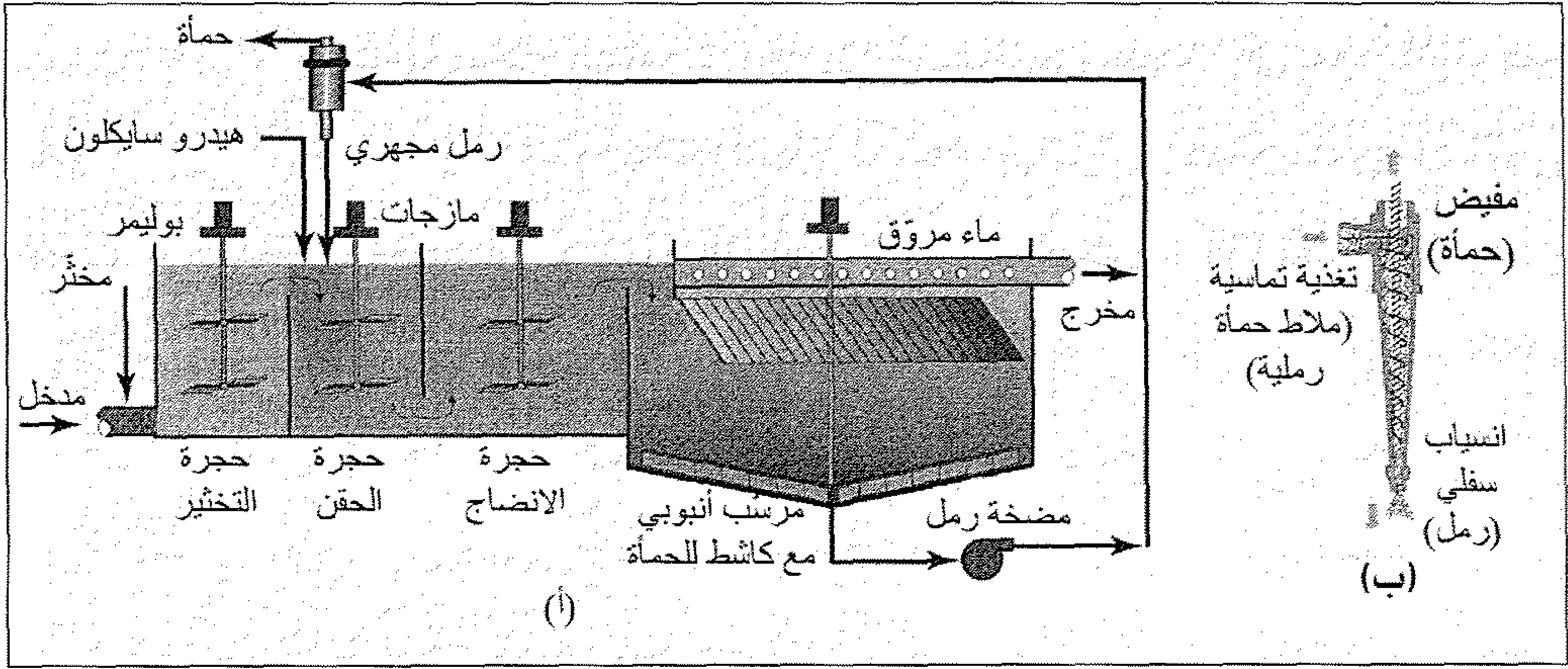
7-4 الترشيح المباشر

لا تتضمّن عملية الترشيح المباشر (Direct Filtration) ترسيباً قبل الترشيح. تُجمّع الشوائب المزالة من الماء وتُخزّن في المرشح. وبالرغم من أن المزج السريع للمواد الكيميائية ضروري، فإما أن تلغى مرحلة التكدر أو تُختزل إلى زمن مزج أقلّ من 30 min. يحدث تكدّر تماسي للجسيمات المتخثّرة كيميائياً في الماء ضمن الأوساط الحُبيبية. ويُعزى التقدم الناجح في الترشيح المباشر إلى التطور في المرشحات متنوّعة الأوساط من الخشن إلى الناعم مع قدرة ترشيح متزايدة، وإلى أنظمة غسيل مرتد باستخدام إثارة الأوساط ميكانيكياً أو هوائياً للمساعدة في تنظيف الأوساط، وتوفر مخثرات بوليميرية أفضل.

إن المياه السطحية ذات العكورة واللون المنخفضين بقيمة أقلّ من 25 وحدة لكليهما، هي الأكثر مناسبة للمعالجة بواسطة ترشيحٍ مباشر. رغم أن الماء ذا اللون المنخفض والعكورة العالية أو الماء ذا اللون العالي والعكورة المنخفضة قد يكون أحياناً مُرضِياً. ويتوقع ظهور مشاكل تشغيل عند تجاوز اللون قيمة 40 وحدة وتجاوز العكورة قيمة 15 NTU (وحدة عكورة نيفلومترية) بشكلٍ مستمرٍ. تعتمد قابلية تنفيذ ترشيح دون تكدير وترسيب مسبقين، على نظرة شمولية لبيانات نوعية الماء. وينبغي تقييم حالة العكورات المرتفعة والتي تحدث نتيجة الجريان السطحي بسبب العواصف إضافةً إلى ازدهار الطحالب. وتكون الاختبارات الاستطلاعية غالباً ذات قيمة عالية في تقدير كفاءة الترشيح المباشر مقارنة بالمعالجة التقليدية، وتصميم أوساط المرشحات، وانتقاء المُحسّنات الكيميائيّة. تكون معدّلات الترشيح عادةً بحدود (5 إلى 15 gpm/sq ft) (3.4 إلى $10.2\ l/m^2 . s$) غير أنها تميل إلى الاقتراب من 5 gpm/sq ft. والميزة الأساسية للترشيح المباشر هي الكلفة الماليّة المنخفضة للتكّدير والترسيب. وقد تنخفض الكلفة الكيميائية أيضاً بالترشيح المباشر على نحو معتبرٍ مقارنةً بالمعالجة التقليدية.

5-7 التكدّر المثقّل

يُعّرف الثقل بأنه مادة ثقيلة تعطي وزناً، وفي هذه الحالة فإن الرمل المجهري يستخدم لتحسين التكدير والترسيب. يظهر الشكل 7-9 عمليات مكوّنات ACTIFLO®. يُمزج مخثّرٌ كيميائي، غالباً ما يكون الشبّة، بسرعةٍ مع الماء الخام لمدة دقيقتين تقريباً في خزان التخثير. ويتم إضافة بوليمير كمساعدٍ على التخثّر، ورمل مجهري (60-µm 220) كمثقّلٍ إلى حوض الحقن وذلك لتحريض تشكّل كدرة لزمن احتفاظ هيدروليكيّ يقارب 2 min. وفي حوض الإنضاج، يؤمّن المزج المعتدل ظروفاً نموذجيّة لتشكّل بوليميرات تجسّر بين الغرويات وتطور نمو خثراتٍ أكبر وأمتن. ويصل زمن الاحتفاظ الهيدروليكيّ النموذجي 6 min تقريباً.



شكل 7-9: عملية الترويق المثقلة بالرمل المجهري ®ACTIFLO. (أ) مخطط تصويري للانسياب. (ب) هيدروسايكلون لإعادة تدوير الرمل المجهري (موافقة من: Krueger)

يقوم المسرع المائي الهيدروسايكلون (Hydrocyclon) بسحب الملاط من قاع خزان الترسيب وإعادة تدوير الرمل النظيف إلى خزان الحقن، ويقوم انسياب صفائحي متجه إلى الأعلى عبر صفائح أنابيب الترسيب بتأمين إزالةٍ سريعة وفعّالة لكدرات الرمل المجهري. ولزمن الترسيب، احتجاز قدره 10 min تقريباً. تخرج المياه الرائقة من نظام الترسيب عبر أحواض جمع لتخضع لترشيح تالٍ بأوساط حُبيبية. يتم تنظيف الملاط الرملي من قاع خزان الترسيب في الهيدروسايكلون. تُرسل الحمأة إلى النفايات، ومن الممكن استخدام الرمل مرة ثانية. تضع بعض دوائر الصحة قيوداً على استخدام الرمل نظراً إلى الاحتمال الوارد في إعادة تدوير الكريبتوسبوروديوم والجيارديا على الرمل.

والتكدير المثقّل (Ballasted Flocculation) مناسب لمعالجة المياه السطحية ذات النوعية المتأرجحة، من قبيل العكورة المنخفضة والمرتفعة عبر فترة زمنيّة قصيرة، ووفرة الطحالب نتيجة ازدهارها، والمواد العضوية المتشكّلة بصورةٍ طبيعيّة من شبكة الصرف الأرضية. تستفيد مصادر الماء والتي تحوي على كربون عضويّ كليّ وكربون عضويّ ذوّاب مرتفعين نسبياً، من الكثافة الإضافية المتأتية من التكدير المثقل. ويمكن اختبار عملية ®ACTIFLO. على مصدر الماء المحليّ

في وحدةٍ إرشاديّة مركبّة على عربة مقطورة. تحتوي المقطورة كلّ أدوات العملية، أنظمة تغذية كيميائية، وحدات تحكم، ومرافق مخبريّة. وتستغرق مدة الاختبار النموذجي مدة 2-3 أسابيع.

مثال 7-4

قارن بين أزمنة الاحتجاز المقترحة لعملية ®ACTIFLO. ذات زمن احتفاظ للمزج السريع والتكدر موصى بها من *Standards for Water Works* لنظام تقليدي تكدر – مروّقات (Flocculation-Clarifiers) لإزالة العكورة من المياه السطحيّة.

الحل

إن الأزمنة التقريبية للاحتجاز في عملية ®ACTIFLO هي:

مزج سريع في خزان التخثّر = 2 min

تشكّل أولي للكدرة في خزان الحقن = 2 min

تكدر في خزان الإنضاج = 6 min

انسياب صفائحي متجه إلى الأعلى في خزان الترسيب = 10 min

المجموع = 20 min

وفي المعالجة التقليدية المحدّدة في *Standards for Water Works* تكون أزمنة الاحتجاز

مزج سريع في حجرة الخزان = 10 sec إلى 20

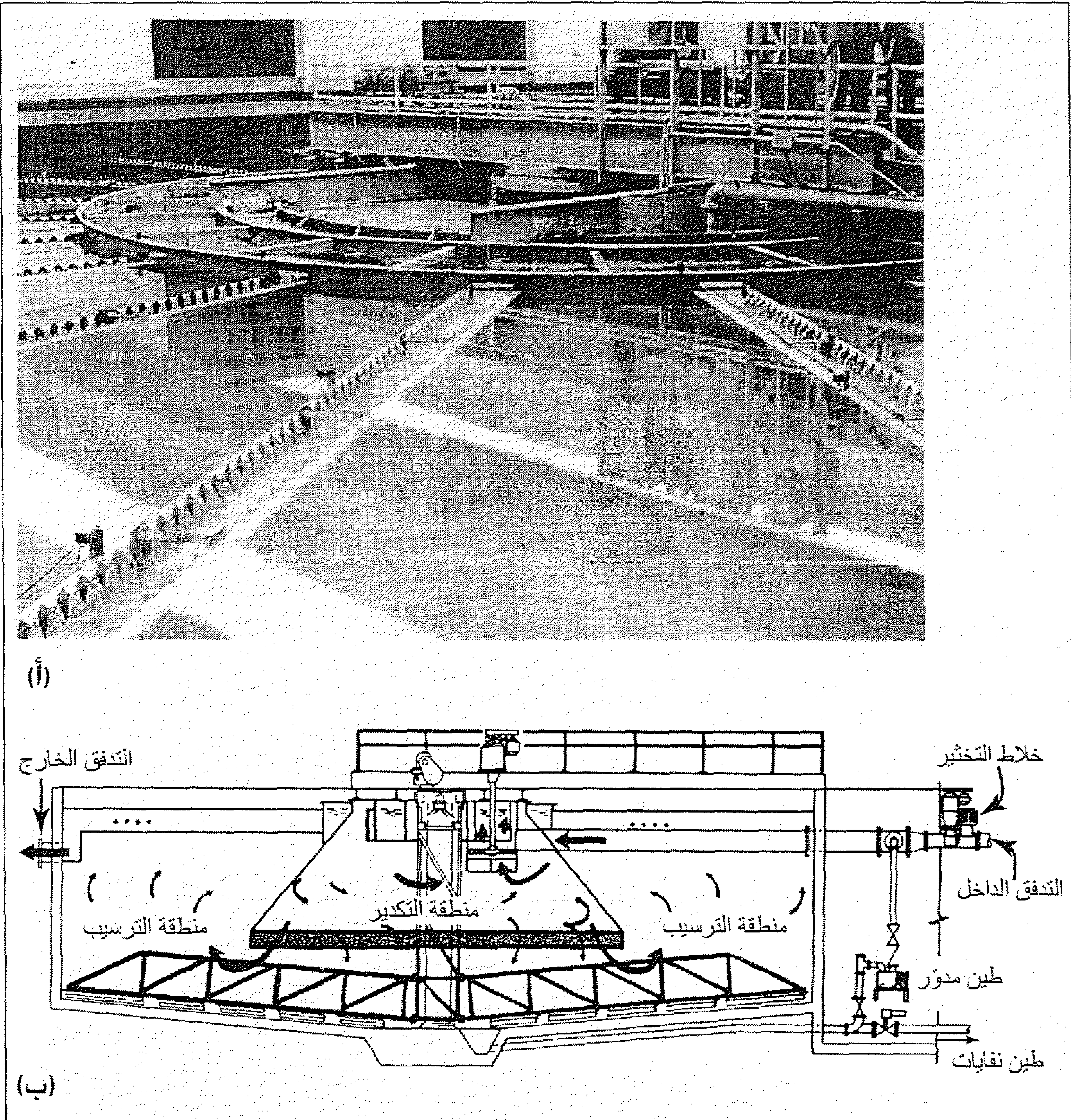
حوض التكدير = 30 min

حوض الترسيب = 4 ساعات أو ساعتان إذا تمّ اختزاله

المجموع = 270 min أو 150 min إذا تمّ اختزاله

وسيكون زمن الاحتفاظ في تكدر – مروّقات المنفذ على أساس حجم الخزان الكلّي المحدّد في *Standards for Water Works* هو

زمن الاحتفاظ= 2 h إلى 4 h أيّ 120 min إلى 240 min



شكل 7-10: يؤمّن المكدّر- المروّق مزجاً سريعاً، تكدراً، وترسيباً في خزان وحيد الحجرة. (أ) صورة لمكدّر - مروّق في محطة إزالة عسرة مياه (منطقة مؤسسة خدمات العاصمة، أوماها، نيوانغلاند)، (ب) منظر لمقطع عرضي للوحدة المصور أعلاه (موافقة من: Walker Process Equipment, Division of Mc Nish Corporation)

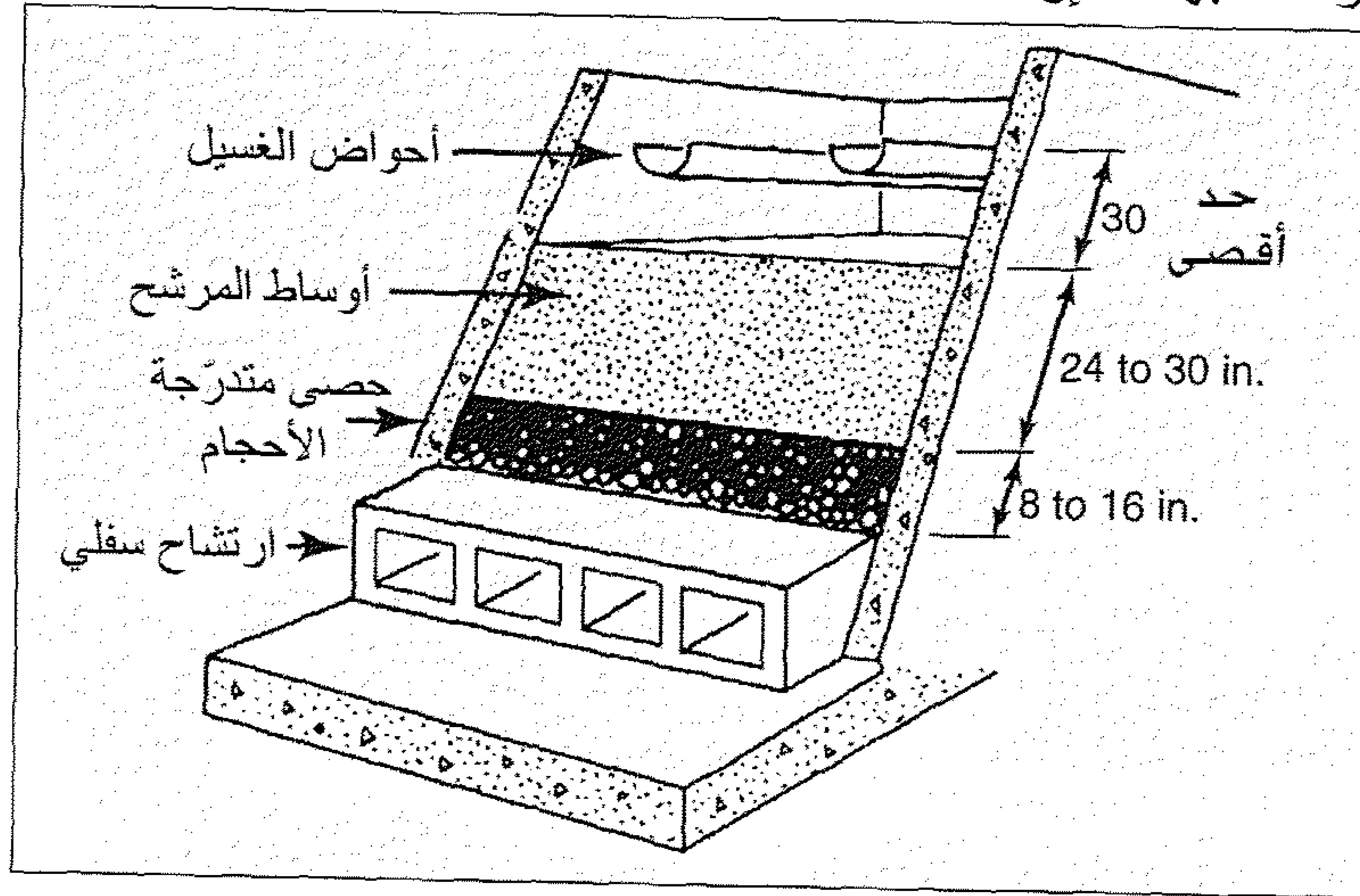
7-6 مكدّر - مروّق

تدمج المكدّرات - المروّقات (Flocculator-Clanfiers)، والتي يُشار لها أيضاً بمصطلح وحدات تماس الأجسام الصلبة أو خزّانات الانسياب نحو الأعلى، كُلاً من عمليات المزج، والتكدر، والترسيب ضمن خزان أحادي الحجرة. ولإزالة عسرة

المواد الكيميائية تدخل مثل هذه الوحدة الموضحة في الشكل 7-10، المخثر في أنبوب الدخول وتمزج الماء تحت الجزء السفلي للخزان المركزيّ ذي الشكل القمعي حيث يتم الإبقاء على تركيز عال للكدرات. يتم توجيه الانسياب المار تحت القبعة عبر طبقة الحمأة الرقيقة المنبسطة عند قعر الخزان لتحفز نمو تجمّعات متعنقدة أكبر حيث تترسب الجسيمات الأثقل. يرتفع الفائض نحو الأعلى على نطاق الترسيب المحيطي إلى أحواض السدّ القطري أو الأحواض المستديرة الداخلية المعلّقة على السطح. وهذه الوحدات ذات مزايا عديدة، وخاصة في إزالة عسرة الكلس في المياه الجوفيّة، نظراً إلى أن المواد الصلبة المترسبة تساعد على تشكّل نواة الكدرة، وعلى تنمية بلورات أكبر من الراسب كي تؤمن حمأة نفايات أكثف. لقد اتسعت تطبيقات مكدّر - مروّقات مؤخراً في المعالجة الكيميائية لمياه الصرف الصناعيّ وفي التجهيز بالمياه السطحيّة. وميزاتها الرئيسة التي تشجع على استخدامها تمثّل بتدني متطلباتها المكانية وكلفة تركيبها. غير أن طبيعة تركيبها كقطعة واحدة تتطلّب شيئاً من التضحية في مرونة التشغيل.

وتنصّ شرعة *Standards for Water Works* على أن مكدّر - مروّق (وحدات تماس الأجسام الصلبة) أكثر قبولاً في الترسيب بالاشتراك مع إزالة العسرة لمعالجة المياه ذات الخصائص ومعدلات الانسياب المتجانسة نسبياً. وتوصي بما يأتي لوحدات القياس: زمن مزج وتكدر لا يقلّ عن 30 min اعتماداً على الحجم الكلّي لنطاقات المزج والتكدر، زمن احتفاظ أدنى قدره 2 h إلى 4 h لإزالة العكورة في معالجة المياه السطحيّة، و1 h إلى 2 h في الترسيب وفي إزالة عسرة المياه الجوفية باستخدام رماد الجير - الصودا، مع زمن الاحتفاظ المحسوب اعتماداً على الحجم الكلّي للمكدّر - مروّقات. لا ينبغي أن تتجاوز حمولات السدّ 10 gpm/ft بالـ (m . 2.1 l/s) لوحدات إزالة العكورة و20 gpm/ft بالـ (4.1 l/m . s) من أجل وحدات إزالة العسرة، كما ينبغي أن لا يتجاوز تيار صاعد للأعلى 1 gpm/sq ft بالـ

(0.68 l/m² . s) و 1.75 gpm/sq ft بالـ (1.19 l/m² . s)، على التوالي. يجب أن لا يزيد حجم الحمأة المُزالة من هذه الوحدات على 5% من المياه المعالجة بهدف إزالة العكورة، أو 3% بهدف إزالة العسرة.



شكل 7-11: مقطع عرضي لمرشح جاذبي ذي أوساط حُبيبية

7-7 الترشيح

إن مرشح الثّقالة ذا الأوساط الحُبيبية هو النمط الأكثر شيوعاً في معالجة المياه لإزالة الكدرات غير القابلة للترسب والمتبقية بعد التخثّر الكيميائي والترسيب. يُوضع فلتر قاعديّ نموذجيّ في صندوق بيتوني (شكل 7-11) على عمق 2 ft ويُدعم بطبقةٍ من الحصى المتدرّج بالحجم تعلو نطاق الارتشاح السفلي. وخلال الترشيح (Filtration) تنساب المياه نحو الأسفل عبر قاعدة المرشح بتأثير اشتراك ضغط الماء من الأعلى والمص من الأسفل. يتم تنظيف المرشحات عبر غسيل مرتدّ (عكس التيار) نحو الأعلى عبر قاعدة المرشح. تقوم أحواض الغسيل المعلّقة فوق سطح المرشح بجمع مياه الغسيل المرتد وتحمله إلى خارج صندوق المرشح.

يشمل مخطط الانسياب التقليدي لمعالجة مياهٍ مدنيّة تكدّر مع تخثّر كيميائيّ وترسيب سابق للترشيح (شكل 7-1). وبدلاً من خزّانات متسلسلة منفصلة، يمكن

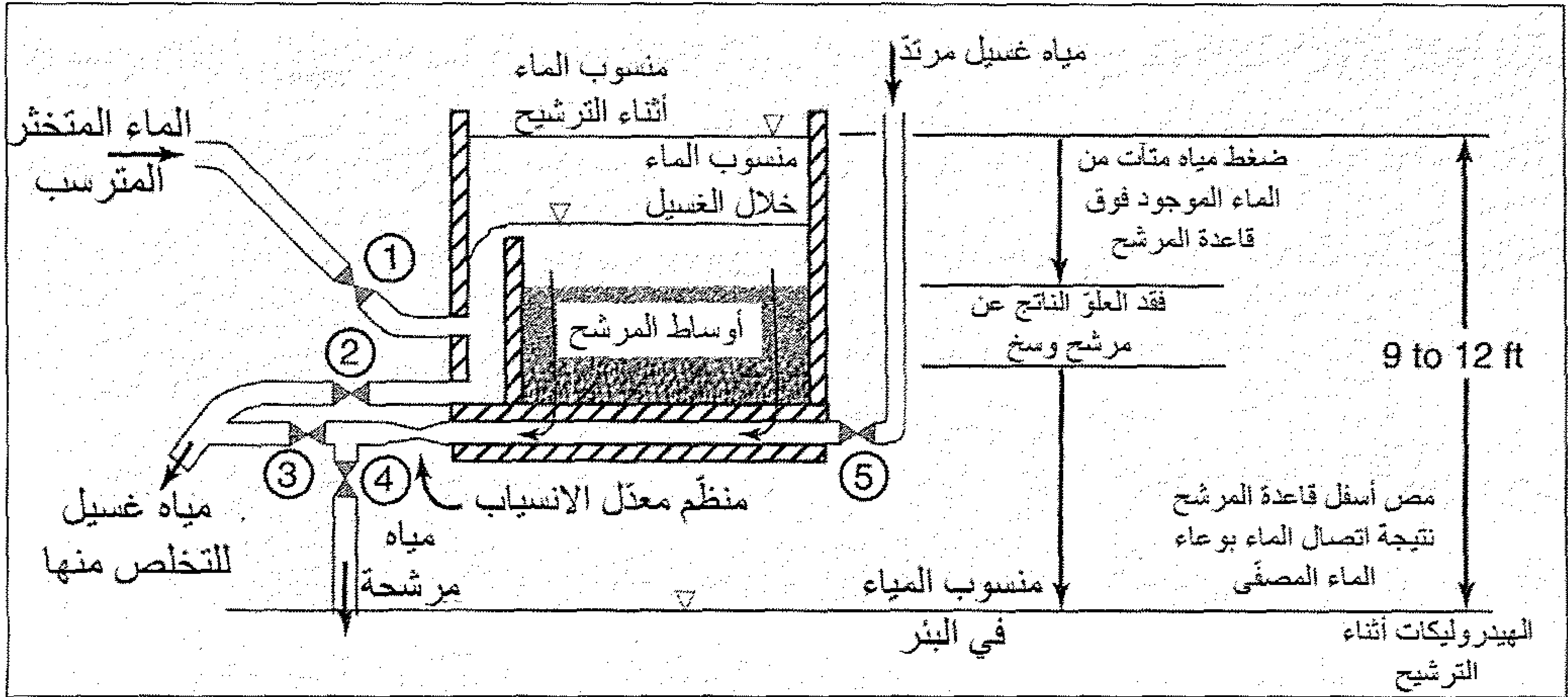
استخدام مكدّر –مروّقات للمزج والترسيب وخصوصاً لدى معالجة المياه الجوفيّة. تكون معدّلات الترشيح في مجال يتراوح بين 2 gpm/sq ft و10 sq ft/gpm (1.4 $l/m^2 . s$ إلى 6.8) مع قيمة تصميم أعظمية تكون عادةً 5 sq ft/gpm (3.4 $l/m^2 . s$).

ضبط الانسياب

تقليدياً تضبط أنظمة الثّقالة معدّل الترشيح وذلك عبر التحكّم بمعدل الطّرح من المرشح وتصريفه نحو الأسفل. يتم ضبط التدفق الداخل (Flow Control) إلى كلّ صندوق مرشح أوتوماتيكياً أو يدوياً ليساوي التدفّق الخارج بحيث يتم المحافظة على ثبات منسوب الماء فوق قاعدة المرشح.

الوصف التالي لتشغيل المرشح مرتبط بترقيم الصمامات المبيّن في الشكل (7-12). في البدء يكون الصمامان 1 و4 مفتوحين بينما تكون الصمامات 2 و3 و5 مغلقة بهدف الترشيح. يطبق انسياب علوي من حوض الترسيب إلى المرشح حيث يمر عبر قاعدة المرشح وأنظمة الارتشاح السفلي الواقعة أسفل منه إلى وعاء الماء المرشح أسفل منه. يبلغ عمق الماء فوق سطح المرشح بين 3 و4 أقدام.

إن أنبوب نظام الارتشاح السفلي مغمورٌ في وعاء الماء المرشح لتأمين الاتصال بالمياه التي يجري ترشيحها، وبالتالي لمنع انسياب مرتدّ للهواء في أنظمة الارتشاح السفلي. ويساوي العلوّ الأعظمي المتوفر للترشيح، فرق الارتفاع بين ارتفاع سطح الماء فوق المرشح ومنسوب الماء في وعاء الماء المرشح، والذي يكون عموماً بحدود 9 ft إلى 12. وعندما يكون المرشح نظيفاً، ينبغي للانسياب عبر قاعدة المرشح أن يُعدّل بحيث يحول دون حدوث معدّلات ترشيح مفرطة. يقوم منظّم معدّل الانسياب والمكوّن من صمام يتحكّم بأدائه مقياس فينتوري، بخنق الانسياب في أنبوب طرح التصريف ويكبح بالتالي معدّله. ومع تجميع المرشح للشوائب تزداد مقاومة الانسياب وفتح الصمام المنظّم لمعدّل الانسياب أكثر للمحافظة على المعدل المحدّد مسبقاً.



شكل 7-12: مصور تخطيطي يظهر عمل المرشح الثقالي مع منظم معدّل الانسياب يعدّل معدّل الرشح، عرضي لمرشح جاذبي ذي أوساط حُبيبية

يتم تنظيف المرشح بواسطة غسيلٍ مرتدّ عندما يكون العلوّ المقاس عبر أوساط المرشح حوالى 8 أقدام. يغلق الصمامان 1 و4 (3 صمامات أخرى تبقى مغلقة)، بينما يفتح الصمام 2. يقوم ترتيب الصمامات هذا بتصريف الماء من فوق قاعدة المرشح نحو الأسفل ليصل إلى ارتفاع جدار قناة المخرج. وإذا استخدم التحريك الهوائي، فإنه يتم إدخال الهواء المضغوط من أنظمة الارتشاح السفلي كي تحرّر الشوائب المتراكمة من حُبيبات الأوساط وذلك بتنظيفها عبر فركها ببعضها بعضاً في أثناء اضطرابها الناتج من المزج الهوائي. فإن استُخدِمت وحدات الغسيل الدوراني، فسيتم وضعها قيد التشغيل وذلك قبل بدء الغسيل المرتد بالماء. وبفتح الصمام 5، تنساب المياه النظيفة عبر أنظمة الارتشاح السفلي تحت المرشح وتمر نحو الأعلى هيدروليكياً عبر قاعدة المرشح موسعّةً العمق السكوني لقاعدة المرشح بنسبة 50 بالمئة. يتم جمع الماء الوسخة بأحواض جمعٍ لتُنقل من ثمّ، إما إلى الطّرح أو إلى المعالجة لإزالة الشوائب قبل إعادة التدوير إلى التدفّق الداخل إلى محطة المعالجة بغية إعادة استخدامه. يمكن أن تُنزَح الكمية الأولى من المياه المرشّحة خلال الدقائق الخمسة الأولى عند بدء التشغيل التالي، وذلك بهدف شطف مياه الغسيل المتبقية في قاعدة المرشح وصرفها في أنظمة الارتشاح السفلي، ويتم ذلك عبر فتح الصمام 3 عندما يكون الصمام 1 مفتوحاً

وذلك لبدء الترشيح (الصمامات 2 و4 و5 مغلقة). ويسمح فتح الصمام 4 وإغلاق الصمام 3 باستمرار لترشيح مجدداً.

أوساط المرشح

إن الفعل الذي يحدث في الأوساط الحُبيبية معقّد إلى أبعد الحدود، إذ يتكون من توتر(Straining) وتكدر (Flocculation)، وترسيب (Sedimentation). ولا تعمل مرشحات الثقّالة بصورة صحيحة ما لم تكن المياه المُستخدمة قد تمّت معالجتها كيميائياً، وإن استدعت الضرورة يتم ترسيب واستبعاد الكدرات الكبيرة منها. إن نقل المخثّرات ضروري وأساسيّ في إبعاد مواد الدقائق (Particulate) المجهرية، وإلا فسوف تمر عبر قاعدة المرشح. وإذا تدفّقت كمية زائدة على حوض الترسيب. فسوف تتشكّل حصيرة من المواد الثقيلة على سطح المرشح بتأثير التوتر لتسد قاعدة المرشح، غير أنه يمكن للشوائب الموجودة في مياه مخثرة بشكلٍ غير صحيح أن تتغلغل عميقاً جداً في قاعدة المرشح ويمكن غسلها قبل أن يتم اصطيادها، الأمر الذي يتسبّب بتشكّل تدفّق خارج عكر.

يحدث الترشيح المثالي عندما يتم اصطياد كدرة متخثّرة غير قابلة للترسب في مسامات قاعدة المرشح ما يتسبّب بما يسمى "ترشيح في العمق"، وتتمتع أوساط مرشح نموذجي بالخصائص التالية: أن تكون حباته خشنة إلى درجة كافية تمكن من تشكّل فتحات مسام كبيرة كي تحتفظ بكميات كبيرة من الكدرات، وتكون بالوقت نفسه ناعمة إلى درجة كافية لتمنع مرور المواد الصلبة المعلّقة، أن يكون ذا عمق ملائم ليسمح بالتالي بطرق ترشيح طويلة نسبياً، وأن تكون حُبيباته متدرجة في الحجم ما يسمح لها بالتنظيف خلال الغسيل المرتد. تؤمن أوساط مضاعفة لقاعدة المرشح، مكوّنة من فحم الأنتراسيت الخشن يعلو رملاً ناعماً، وجود طبقةٍ علويةٍ ذات مساميّة متزايدة تعمل على تخفيف انسداد السطح.

يمكن للترشيح أن يتوثق بسبب المعدل المنخفض للترشيح أو بسبب مرور عكورة مفرطة عبر قاعدة المرشح. وتحت ظروف تشغيل عادية، يمكن غسل مرشحات ذات الأوساط الحُبيبية بشكل مرتدّ مرة كل 24 hr معدل 15 gpm/sq ft ($10l/s\ m^2$) لمدة خمس إلى عشر دقائق. ويمكن طرح أول مياه مرشحة لفترة min 3 إلى 5 min. وتكون قاعدة المرشح خارج التشغيل لفترة 10 min إلى 15 min لإنهاء عملية التنظيف. تتراوح كمية المياه المُستخدمة في الغسيل المرتد بين 2 في المئة و4 في المئة من كمية الماء المرشّحة. وخلال الغسيل المرتدّ، تتمدّد قاعدة أوساط المرشح هيدروليكياً بنسبة 50 في المئة تقريباً، وتنتقل الشوائب المتحررة منه عبر انسياب نحو الأعلى لمياه الغسيل إلى أحواض الغسيل.

يمكن أن تطرأ مشاكل في المرشحات ثنائية القاعدة إذا اقتصر التنظيف على تسييل مياه الغسيل. يمكن للتمدّد غير المتجانس وكذلك التنظيف السيّئ التسبّب بتشكّل كريات طينية تهبط عبر أوساط فحم الأنتراسيت الخشن لتستقر على سطح الرمل. والطرق الشائعة في تنظيف المرشحات ثنائية القاعدة هي إما التنظيف الهوائي أو التنظيف المائي الهوائي وذلك قبل الغسيل المرتد. ففي التنظيف الهوائي المستقل، يخفّض منسوب الماء إلى ما دون أحواض مياه الغسيل ليقترب من سطح الأوساط، ويتم ضخ الهواء فقط وذلك لمزج وتنظيف الأوساط. بعد ذلك تُستخدم مياه الغسيل لتسييل القاعدة وغسلها من الملوّثات والشوائب. أما في التنظيف المائي الهوائي، فتبدأ الدورة أيضاً بنزح الماء الموجودة فوق المرشح. وبعد بدء انسياب مياه الغسيل المرتد بمعدل يقارب ربع معدّل التسييل، يُضخ الهواء ليبدأ من ثم انسياب متزامن من الماء والهواء بتنظيف حُبيبات قاعدة المرشح مع ارتفاع منسوب مياه الغسيل في صندوق المرشح. وعندما يقترب سطح الماء من قاع أحواض الغسيل يُوقف ضخ الهواء ويزداد معدّل الغسيل المرتد إلى سرعة التسييل المرغوبة للتمكن من حمل الشوائب والمضي بها إلى خارج القاعدة المتمدّدة.

يتم خلط أوساط الحُبيبية بشكل كامل في الانسياب العكر المخضوض لقاعدة متمدّدة خلال الغسيل المرتد. وعندما يتوقف الانسياب المتجه للأعلى، تترسب الحُبيبات المعلّقة لتشكّل طبقة متنضدة بحيث تكون الحُبيبات الأنعم لكل وسط من الأوساط في الأعلى. وفي قاعدة أوساط تمّ مزجها، تترسب الأوساط ذات الكثافة الأقلّ على القمة متمثلة بطبقة فحم الأنتراسيت فوق طبقة الرمل.

يتم تحديد الأوساط الرملية بواسطة الحجم الفاعل ومعامل التجانس. يبلغ الحجم الفعال عشر قطر الحبات ما يعني أن نسبة وزنية قدرها 10% من حبات المرشح أصغر من هذا القطر. أما معامل التجانس هو نسبة 60% من القطر إلى 10% من القطر. يتراوح المجال الشائع للحجم الفاعل لمرشحات أحادية الوسط بين 0.45 mm و0.55 mm، وتبلغ الثقالية النوعية 2.65. أما معامل التجانس فقيمته أقلّ من 1.7، علماً أن قيماً منخفضة عن هذا الحدّ تكون مفيدةً في إنقاص معدّل انسياب الغسيل المرتد. ويتراوح عمق طبقة الرمل بين .24 in و.30 in.

يظهر الشكل 7-13 مقطعاً في مرشح مزدوج الأوساط مكوّن من فحم ورمل. يستخدم هذا المرشح أوساط من الأنتراسيت الخشن نسبياً ذي حجم فاعل يتراوح بين 0.9 mm و1.1 mm وجاذبية نوعية بين 1.4 و1.6، وذلك فوق طبقة رمل ناعم له الخصائص الموصوفة في ما سبق. إن قيمة معامل التجانس لأوساط فحم الأنتراسيت أقلّ من 1.7، مع أدنى قيمة له عملياً متوفرة تجارياً قدرها 1.5. والطبقة العليا للأنتراسيت الأخشن ذات مسامٍ لأكبر من تلك الموجودة في الرمل بنسبة 20 في المئة، وعليه يتم توفير تدرّج للأوساط من الخشن إلى الناعم مع اتجاه الانسياب. وبعد الغسيل المرتد تتطبق قاعدة المرشح بحيث يكون الرمل الأثقل في الأسفل والفحم الأخشن والأخف في الأعلى.

يتم امتزاز واحتجاز جسيمات الكدرات الأكبر على سطح طبقة الفحم، بينما يتم اصطياد المواد الأنعم في مرشح الرمل، وبالتالي فإن قاعدة المرشح تقوم بالترشيح على أعماقٍ أكبر، مانعةً بذلك انسداداً مبكراً للسطح.

أنتراسيت (فحم)
جاذبية نوعية 1.4 - 1.6
حجم فاعل 0.9 - 1.1
معامل تجانس < 1.7

رمل
جاذبية نوعية 2.65
حجم فاعل 0.45 - 0.55
معامل تجانس < 1.7

رمل خشن

طبقات من حصى ناعمة
إلى خشنة

ارتشاح سفلي

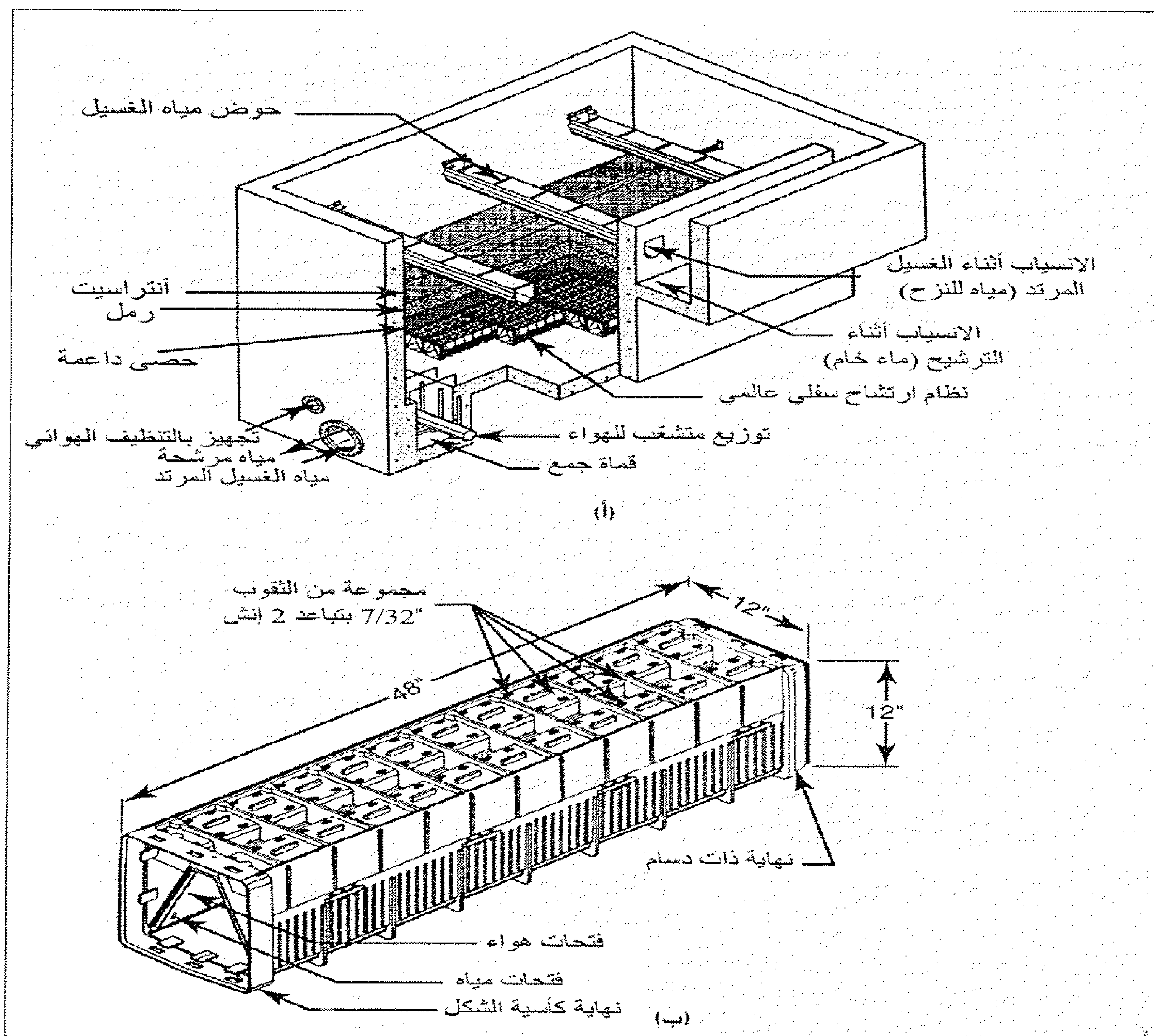
شكل 7-13: مقطع عرضي في أوساط مرشح وسط مزدوج من الفحم والرمل وطبقة حصى داعمة، يبدي قيماً نموذجيّة لأحجام الحبات، والثقالية النوعيّة، والأحجام الفعّالة ومعاملات التجانس

نظام الارتشاح السفلي للمرشح

إن وظيفة الارتشاح السفلي (Filter Underdrains) هو تعزيز أوساط المرشح، وجمع الماء المرشح وتوزيع مياه وهواء الغسيل المرتدّ لتنظيف الأوساط. يفصل رمل خشن وطبقات متعدّدة من حصى متدرجة، أوساطَ المرشح عن نطاق الارتشاح السفلي، بحيث يعتمد تدرّج أدنى طبقة حصىً على حجم فتحات نظام الارتشاح السفلي (شكل 7-13). ودورها هو منع فقدان الأوساط خلال الترشيح، وكذلك لتوزيع مياه الغسيل المرتد بشكل متجانس. يظهر الجدول 7-1 عدّة أنماط مختلفة لأنظمة الارتشاح السفلي. تسمح بعض الأنظمة بتنظيف حُبيبات الأوساط هوائياً قبل الغسيل المرتدّ بالماء، بينما لا يسمح بعض آخر بتنظيف هوائيّ، في حين يسمح بعض آخر بتنظيفٍ هوائيّ – مائيّ متزامن.

إن قاع المرشح في الشكل 7-14 عبارة عن حاجز من البلاستيك ذي تصميم أفقي مزدوج ومتواز لتوزيع متجانس للتنظيف الهوائي أو لتنظيف هوائيّ – مائيّ متزامن؛

وكذلك لغسيلٍ مائيٍّ مرتدٍّ. يتم وضع طبقة حصى متدرج ثخانتها $\frac{3}{4}$ in. إلى $\frac{1}{8}$ بين الحاجز ورمل الفلتر. يدخل الهواء، أو ماء وهواء متزامنان، أو ماء فقط من الجزء السفلي الجانبي عبر فتحات تحكّم إلى الجزء العلوي الجانبي المكافئ عبر فتحات التشتيت في قمة الحاجز. وعبر هذا الترتيب فإن ضغط الهواء أو ماء الغسيل سيكونان متساويين، ما ينتج بالتالي انسياباً إلى الأعلى متجانساً عبر الفتحات على امتداد سطح الحاجز. تشتّت طبقة الحصى الخشنة الانسياب المتجّه إلى الأعلى، وتلعب الحصى الناعمة العُلوية دور حاجز يمنع امتزاج الحصى مع رمل المرشح.



شكل 14-7: مرشح جاذبي مزدوج الأوساط (أ) مقطع في صندوق مرشح بيتوني مع نظام ارتشاح سفلي هواء/ماء، طبقة حصى داعمة، أوساط مرشح من رمل – أنتراسيت، وأحواض مياه غسيل. (ب) حاجز نظام ارتشاح سفلي من البولي إيثيلين ذي تصميم مزدوج متوازي من أجل إما تنظيف هوائيّ أو تنظيف هوائي أو تنظيف هوائيّ – مائيّ متزامن مع غسيل مرتدّ بالماء (موافقة من: .F. C. Leopold Company, Inc)

يتسبّب التنظيف الهوائيّ والتنظيف الهوائيّ – المائيّ المتزامن بفركٍ قوي لحبات الأوساط من أجل تحرير حبات الرمل والأنتراسيت من الشوائب. وبعد الفرك، يقوم

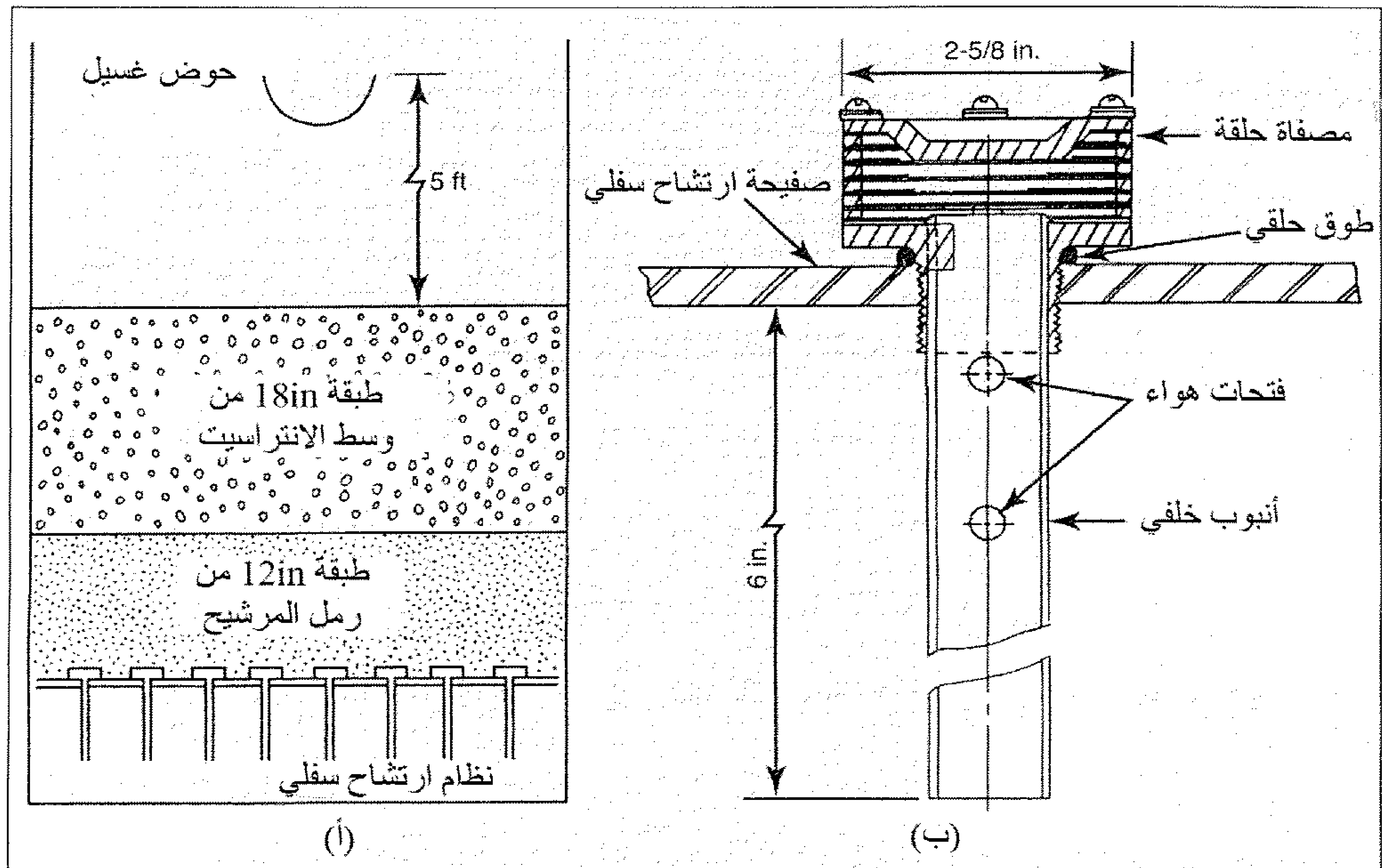
الغسيل المرتدّ بتسييل هيدروليكيّ لأوساط المرشح، مزيداً عمق القاعدة بنسبة 50%. يقوم هذا الانسياب نحو الأعلى لمياه الغسيل بحمل الشوائب خارج القاعدة والسماح بإعادة تصنيف مزيج الأوساط، بحيث يكون الأنتراسيت فوق الرمل. وبعد التنظيف يتم إيقاف الغسيل المرتد والسماح للأوساط بإعادة تصنيفها والترسب من معلّقاتها.

جدول 7-1: أنظمة ارتشاح سفلي لفلاتر شائعة

نظام الارتشاح	الخصائص
أنابيب جانبية مع	طبقة حصى عميقة فقد علوّ متوسط من دون تنظيف هوائي
أنابيب جانبية مع	طبقة حصى ضحلة فقد علوّ عالي تنظيف هوائي
حاجز من القرميد	طبقة حصى ضحلة فقد علوّ متوسط من دون تنظيف هوائي
حاجز بلاستيكي أفقي	طبقة حصى ضحلة فقد علوّ منخفض تنظيف هوائي أو تنظيف هوائي–مائي متزامن
بزباز بلاستيكي	من دون طبقة حصى أو بطبقة حصى ضحلة فقد علوّ عالي تنظيف هوائي أو تنظيف هوائي–مائي متزامن

تنظف المرشحات عادةً كلّ 24 hr، يبلغ معدّل الغسيل المرتد حوالى 15 gpm/ft^2 (10 . s) l/m^2 لمدة 5 min إلى 10. يبقى المرشح خارج الخدمة لمدة 10 min إلى 15 لإتمام عملية تنظيف كامل بما فيها فرك الحُبيبات وترسبها. يمكن نزح الكمية الأولى من الماء المرشّحة لمدة 3 min إلى 5 لشطف أيّ شوائب متبقيّة

في المرشح. تتراوح نسبة المياه المُستخدمة في التنظيف بين 2% و4% من المياه المرشّحة. يتكون نظام ارتشاح سفلي موضّح في الشكل 7-15، من بزباز بلاستيكي مركّب ضمن فراغات موجودة في نظام ارتشاح سفلي فولاذي أو بيتوني. يتكون كلّ بزباز من قطع لها شكل إسفيني جُمعت بواسطة براغي فولاذية لتشكّل أخدوداً يحتفظ بالأوساط، وستدقّ الأسافين مترققةً باتجاه انسياب الماء في أثناء الترشيح. والأوساط التي يوصى بها لبزباز المرشح هذا .in 12 من الرمل و.in 18 من الأنتراسيت.



شكل 7-15: نظام ارتشاح سفلي لتنظيف بالهواء و غسيل مرتدّ بالماء لمرشح أوساط حُبيبية (أ) مقطع عرضي في المرشح. تفاصيل بزباز هواء-مياه (موافقة من: .General Filter Co., Ame. IA)

بعد إنزال منسوب الماء في صندوق المرشح يتم ضخ الماء والهواء بشكل متزامن من قعر المرشح. وللأنابيب الخلفيّة للبزباز فتحات اختير حجمها بحيث تحتفظ بطبقة هوائية ثخانتها .in 2-3 تحت الصفيحة لتضمن ضغطاً مساوٍ للبزباز وتوزيعاً متجانساً للهواء على أسفل قاعدة المرشح. يستمر الغسيل المرتد بالماء والهواء لمدة 7 min إلى 10 لتنظيف الأوساط. يتم جمع مياه الغسيل الوسخ في

أحواض غسيل حاجزيّة ونقلها من ثم إلى الطرح. وبعد قطع تجهيز الهواء، يستمر الغسيل المرتد بالماء نحو 1 min إلى 3 لتنظيف نظام الارتشاح السفلي والأوساط المتوسعة من الهواء المحتجز قبل إعادة التطبق.

التحكّم بالمرشح

تحوي وحدة التحكّم لكل وحدة مرشح (Filter Control)، مقياساً لفقد العلوّ، ومقياس انسياب، ومُتحكّم بمعدل الانسياب. يتوقف أداء المرشح عادةً إذا وصل فقد العلوّ عبر المرشح إلى قيمة محدّدة مسبقاً تتراوح بين 6 ft و9، أو عندما تتجاوز عكورة التدفّق الخارج المقدار المعتبر مقبولاً. فعندما تتجمّع المواد المعلّقة في مسام المرشح، ويزداد فقد العلوّ عبر قاعدة المرشح، سيكون الجزء السفلي من المرشح تحت تأثير مصٍّ من عمود الماء الموصول عبر شبكة الأنابيب بوعاء الماء المرشح (شكل 7-12). يسمح هذا الطّرح الجزئي للهواء بتحرّر الغازات المُذابة والتي تميل إلى التجمّع في مسام المرشح، متسبّبةً من ثم بارتباط الهواء وبتراجع معدّل الرّشح. وإضافة إلى قصر فترات عمل الرشح يميل الغاز المتراكم في قاعدته إلى الخروج بشكل عنيف خلال بدء دورة الغسيل المرتدّ، وقد يتسبّب ذلك باضطراب قاعدة الفلتر الحصوية.

يمنع منظم المرّشح حدوث تغيرات سريعة في معدّلات الترّشيح كما ينظم سرعة الانسياب عبر قاعدة مرشح نظيفة. تُستخدم أجهزة كهرضوئيّة تقيس عكورة الانسياب باستمرار، في مراقبة نوعية التدفّق الخارج من المرشح. وبكشف العكورة في المياه المرشّحة، يمكن إيقاف عمل مشغل المرشح إن تردت النوعية وذلك قبل الوصول إلى فقد أعظميٍّ للعلوّ.

مرشحات الضغط

في مرشحات الضغط (Pressure Filters) تكون الأوساط وأنظمة الارتشاح السفلي محتواة ضمن خزان فولاذيّ، وتكون الأوساط المُستخدمة مشابهةً لتلك

المُستخدمة في مرشحات الثّقالة، وتكون معدّلات الترشيح بين 2 gpm/sq ft و4. يتم ضخ الماء عبر قاعدة المرشح الموجودة تحت الضغط، وتُغسل الوحدة بشكل مرتدّ بعكس اتجاه الانسياب منظفاً إياها بالتالي من الشوائب. لا تُستخدم عموماً مرشحات الضغط في منشآت المعالجة الكبيرة بسبب محدوديّة الحجم. غير أنها شائعة في محطات المعالجة الصغيرة في المدن لمعالجة المياه الجوفية لإزالة عسرتها ومحتواها من الحديد. إن أوسع تطبيقٍ لهذه المرشحات هو معالجة الماء للأغراض الصناعيّة.

مثال 7-5

تبلغ أبعاد وحدة المرشح الموضحة في الشكل 7-14، 14 ft x 30. وبعد ترشيح 2.5 mil gal في فترة 24 hr، غسل المرشح بمعدل 15 gpm/sq ft لمدة 12 min. احسب متوسط معدّل الترشيح، ونوعية ونسبة المياه المعالجة المُستخدمة في الغسيل المرتد.

الحل

$$\text{معدل الترشيح} = \frac{2500000\ gal/day}{15\ ft \times 30\ ft \times 1440\ \text{min}/day} = 3.9\ \text{gpm/sq ft}$$

$$\text{كمية مياه الغسيل} \qquad \frac{15\ gal}{\text{min}\ x\ day} \times 12\ \text{min} \times 15\ \text{ft} = 81000\ \text{gal}$$

$$\frac{\text{مياه المعالجة}}{\text{مياه الغسيل}} = \frac{81000\ gal}{2500000\ gal} \times 100$$

7-8 التخثير الكيميائي

تحوي المياه السطحية عموماً على مواد صلبة معلّقة وغروية متأتّية من تعرية اليابسة، ومن تحلل النباتات والعضويات المجهرية والمركبات المنتجة للألوان. ويمكن إزالة المواد الخشنة كالرمل والطميّ إلى حد بعيد باستخدام الترسيب البسيط. أما المواد الأنعم فيجب تخثيرها كيميائياً (Chemical Coagulation) لإنتاج كدرات أكبر يمكن إزالتها عبر ترسيب وترشيح متعاقبين. لقد نوقش الإخلال بتوازن

المعلّقات الغروية في الفقرة 2-8 كما يوضّح الشكل 1-7 مخططات الانسياب النموذجيّة لمحطات معالجة المياه السطحيّة.

والتخثير والتكدر حساسان للغاية تجاه عدد من المتحوّلات، مثل طبيعة المواد المسببّة للعكورة، نمط وطبيعة جرعة المخثرات، قيمة pH للمياه وما شابهها. ومن بين كلّ المتحوّلات التي يمكن التحكّم بها، يبدو أن pH أكثرها أهميةً. وعموماً فإن أنماط المخثّرات والمساعدات المتوفرة يتم تحديدها بواسطة مخططات عمليات المحطة. ويمكن بالطبع ضبط جرعات هذه المواد لتتلاءم مع تغيرات نوعية الماء الخام. كما يمكن أيضاً ضبط المزج الميكانيكي عبر تغيير سرعة مجاديف المكدرات.

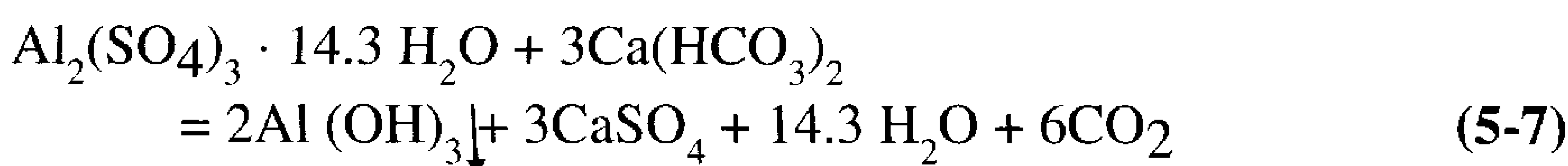
تستخدم اختبارات الارتجاج على نطاق واسع لتقدير الجرعات الكيميائية النموذجيّة للمعالجة. يحاول هذا الاختبار محاكاة عملية تخثّر – تكدر بشكلٍ كامل، ويمكن تنفيذه تحت ظروفٍ متنوعةٍ جداً. ويتضمن تفسير النتائج اختباراً كيميائياً وبصرياً للمياه المرشّحة المصفاة. وعادةً تعطي محطات المعالجة نتائج أفضل من اختبار الارتجاج باستخدام جرعات المواد الكيميائية نفسها. وبالطبع، ولتأكيد المعالجة الكيميائية النموذجيّة، يجب اختبار الماء في مراحل المعالجة المختلفة، بما فيها التدفّق النهائي. إن إحدى تقنيات المراقبة الشائعة هي تحليل عكورة الماء المرشّح، وتسجيل المدة الزمنيّة الفاصلة بين غسيلين مرتدّين متتالين للمرشحات.

المخثرات

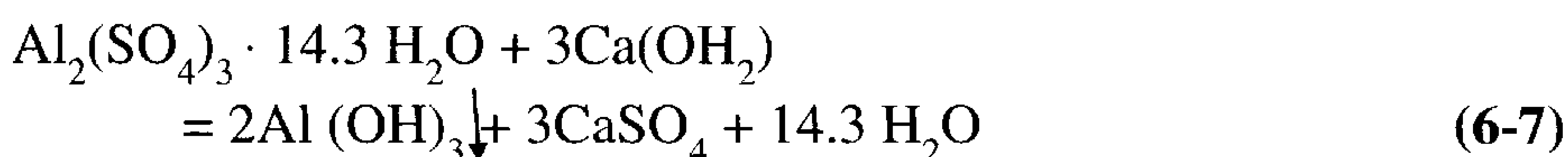
المخثرات المعدنية (Coagulants) الشائعة الاستخدام في معالجة الماء هي (1) مخثرات قوامها الألمنيوم، ككبريتات الألمنيوم، وألومينات الصوديوم، وشبّة البوتاس، وشبّة الأمونيا، و(2) مخثرات أخرى قوامها الحديد ككبريتات الحديديك، كبريتات الحديدوز، كبريتات كلورينيتيد الحديدوز، وكلوريد الحديديك. يقدّم الوصف التالي بعض الخصائص وتفاعلات هذه المواد والتي لها صلة بتخثير الماء. حيث سيعبّر عن التخثير بمعادلات افتراضيّة مع التفهّم بأنها لا تعبّر بدقةٍ عمّا يحدث في الماء. لقد أظهرت الدراسات أن حلمأة أملاح الحديد والألمنيوم أكثر تعقيداً بكثير مما سوف تشير إليه هذه المعادلات، غير أنها مفيدة في مقاربة منتجات التفاعل والعلاقات الكميّة.

حتى الآن تُعتبر كبريتات الألمنيوم، $Al_2(SO_4)_3 . 14.3\ H_2O$ أكثر المخثّرات استخداماً، ومنتجها التجاري معروف باسم الشبّة، أو شبّة المرشِّح، أو كبريتات الألمنيوم. وشبّة المرشح عبارة عن مادة مبلورة بيضاء رمادية تحوي قرابة 17% من Al_2O_3 قابل للذوبان بالماء وتتوفر إما بشكلٍ كتليٍّ أو ترابي أو مسحوق، وكذلك بشكل محلول مركّز. تُعاير الشبّة الترابية عادةً بواسطة رافد إمداد من النمط الثقلي (Gravimetric-Type Feeder) إلى خزان للمحلول، حيث تنقل منه إلى نقطة إدخالها بواسطة الضخ. تحتوي كبريتات الألمنيوم على 8% من Al_2O_3 المُتاح.

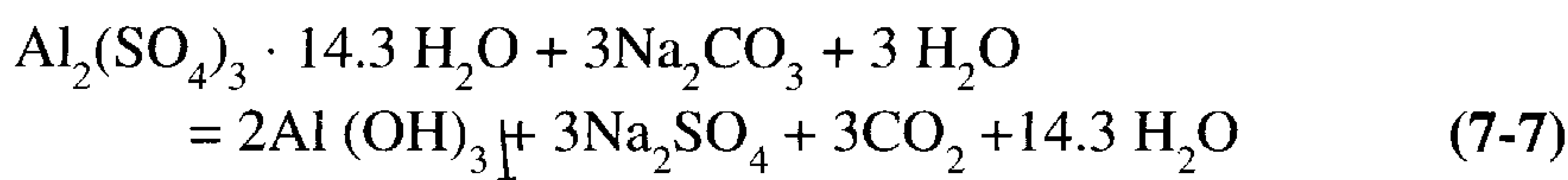
إن حلمأة أيون الألمنيوم في محلول معقّد ولم يتم تحديده بعد. ففي الماء النقي لدى قيم pH منخفضة، يكون معظم الألمنيوم على شكل Al^{+++}. بينما وجدت أنواع معقدة $Al(OH)^-_4$ في المحاليل القلويّة. وفي معادلات التخثّر الافتراضيّة، تُكتب صيغة كدرات الألمنيوم كـــ $Al(OH)_3$. وهي الصيغة السائدة الموجودة في المحاليل المخففة التي لها قيمة pH قريبة من التعادل في غياب أنيونات معقدة خلاف الهيدروكسيد. تعبر المعادلة 7-5 عن التفاعل بين الألمنيوم والقلويّة الطبيعية. فإذا أضيف الجير أو رماد الصودا إلى الماء الحاوي على مخثّر، فإن التفاعلات النظرية ستكون كما هو موضّح في المعادلات 7-6 و 7-7.



$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3\ H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Al\ (OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 14.3\ H_2O + 6CO_2 \qquad \textbf{(5-7)}$$



$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3\ H_2O + 3Ca(OH_2) = 2Al\ (OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 14.3\ H_2O \qquad \textbf{(6-7)}$$



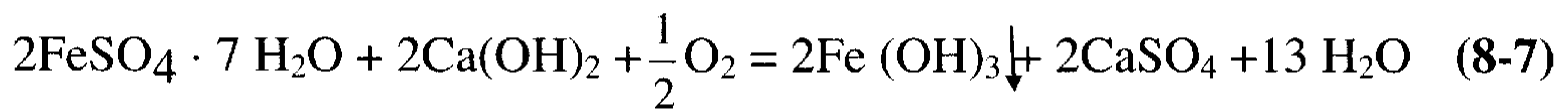
$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3\ H_2O + 3Na_2CO_3 + 3\ H_2O = 2Al\ (OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4 + 3CO_2 + 14.3\ H_2O \qquad \textbf{(7-7)}$$

واعتماداً على هذه التفاعلات فإن 1.0 mg/l من الشبّة ذي وزن جزيئي مقداره 600 سيتفاعل مع 0.5 mg/l من القلويّة الطبيعية معبر عنها بـــ $CaCO_3$، أو مع

0.39 mg/l من الجير المُحلمأ بنسبة 95% بصورة $Ca(OH)_2$، أو مع 0.33 mg/l من الجير السريع بنسبة 85% بصورة CaO، أو مع 0.53 mg/l من رماد الصودا بصورة Na_2CO_3، وعندما يتفاعل الجير أو رماد الصودا مع كبريتات الألمنيوم، تبقى القلويّة الطبيعيّة للمياه بلا تغيير. وتبقى في المياه المعالجة أيونات الكبريتات المُضافة مع الشبّة. أمّا عند استخدام القلويّة الطبيعيّة ورماد الصودا، فسينتج ثاني أكسيد الكربون. وتكون جرعات الشبّة المُستخدمة في معالجة الماء في مجال 5 mg/l إلى 50، وذلك لكون تنقية الماء العكرة تتطلّب تراكيز عالية. ويكون تخثّر الشبّة فاعلاً ضمن حدّي pH يقعان بين 5.5 و8.

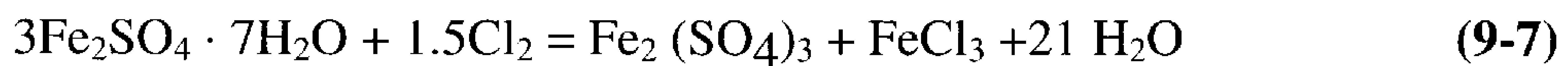
يمكن استخدام ألومينات الصوديوم $NaAlO_2$ كمخثر في حالات خاصّة. يكون للنوع التجاري درجة نقاء تبلغ تقريباً 88% ويمكن شراؤها إما بحالة صلبة أو كمحلول. ونظراً إلى كلفتها المرتفعة، تُستخدم ألومينات الصوديوم عموماً كمساعد لتفاعل التخثّر بدلاً من استخدامها كمخثر أوليٍّ أساسيّ. إذ تبيّن أنها فعّالة في التخثّر الثانوي للمياه السطحية الملوّنة بشدّة، وكذلك كمخثرٍ في عملية إزالة عسرة الماء بواسطة رماد الصودا وذلك لتحسين قابلية ترسيب الرواسب.

كبريتات الحديديك $FeSO_4.7H_2O$ (تُعرف أيضاً باسم كوبراس)، مادة صلبة مبلورة بيضاء مخضرّة، يتم الحصول عليها كناتج جانبي من عمليات كيميائية أخرى. وبصورة رئيسة من عمليات تلميع الفولاذ. وبالرغم من توفرها في السائل المتبقي عن السائل الحمضي المُستخدم في هذه العمليات، إلا إن المحضّر التجاريّ الشائع له شكل حُبيبيّ. يترسّب أيون الحديدوز المُضاف إلى الماء بشكل مؤكسَد بصورة هيدروكسيد الحديديك، لذا فإنه من المُتطلب عموماً إضافة الجير أو الكلور لتأمين تخثّر فاعل. إن التخثّر بكبريتات الحديدوز والجير كما هو موضّح في المعادلة 7-8 فاعل لتنقية المياه العكرة ولتفاعلات أخرى تجرى لدى قيم pH عالية، كتفاعل إزالة العسرة بواسطة الجير.



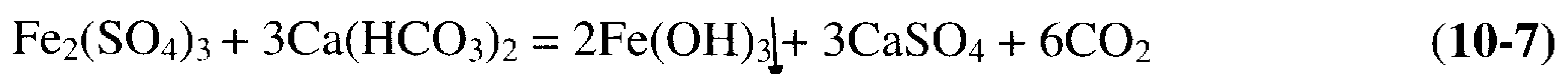
$$2FeSO_4 \cdot 7\,H_2O + 2Ca(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 = 2Fe\,(OH)_3\downarrow + 2CaSO_4 + 13\,H_2O \quad \textbf{(8-7)}$$

يتم تحضير كلورينيتيد الكوبراس عبر إضافة الكلور ليؤكسد كبريتات الحديديك. إن مزيّة هذه الطريقة مقارنةً بإضافة الجير تكمن في إمكانية التخثّر في مجال قيم pH واسع يمتدّ من 4.8 إلى 11. ونظرياً ووفقاً للمعادلة 7-9 فكل mg/l من كبريتات الحديدوز يحتاج إلى 0.13 mg/l من الكلور، بالرغم من أن كلوراً إضافياً قد أُضيف عموماً للتأكّد من إتمام التفاعل.

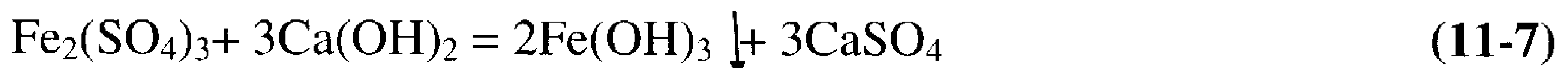


$$3Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O + 1.5Cl_2 = Fe_2\,(SO_4)_3 + FeCl_3 + 21\,H_2O \quad \textbf{(9-7)}$$

تتوفر كبريتات الحديديك، $Fe_2(SO_4)_3$ كمخثّر تجاريّ على شكل مادة حُبيبيّة بنيّة محمرّة سريعة الذوبان في الماء تتفاعل مع القلويّة الطبيعية للمياه وفقاً للمعادلة 7-10 أو مع المواد القلويّة المضافة، كالجير أو رماد الصودا، معادلة 7-11



$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 + 6CO_2 \quad \textbf{(10-7)}$$



$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4 \quad \textbf{(11-7)}$$

وعموماً فإن مخثرات الحديديك فعّالة في مجال واسع لقيم pH، وتكون كبريتات الحديديك ناجحةً وبخاصّة عند استخدامها لإزالة الألوان لدى قيم pH منخفضة، أما لدى قيم pH عالية، فقد تُستخدم لإزالة الحديد والمنغنيز وكذلك كمخثّر في ترسيب إزالة العسرة.

يُستخدم كلورايد الحديديك $FeCl_3.\,H_2O$ بصورة أساسية في تخثير مياه الصرف ومياه الصرف الصناعيّ، وله استخدام محدود في معالجة المياه. وينتج عادةً عبر كلورة حديد الخردة، ويوجد تجارياً بشكلين، صلب وسائل. ونظراً إلى كونه مادةً أكّالة للغاية، ينبغي حفظ السائل في خزّانات وأوعية مقاومة للتآكل. إن تفاعلات كلورايد الحديديك مع القلويّة الطبيعية والمضافة مشابهة لتفاعلات كبريتات الحديديك.

مساعدات المخثر

تحدث غالباً صعوبات في التخثير بسبب الترسيب البطيء للرواسب أو نتيجة هشاشة الكدرات والتي تتفكك بسهولة بتأثير القوى الهيدروليكية في الأحواض

والمرشّحات. تفيد مساعدات التخثّر (Coagulant Aids) في التكدّر وذلك لتحسينها من الترسيب ومتانة الكدرات. وأكثر المواد استخداماً في ذلك البوليميرات، يليها عوامل الامتزاز، والمؤكسدات.

والبوليميرات الصناعية عبارة عن مواد كيميائية عضوية تجاريّة طويلة السلسلة وذات وزن جزيئي كبير، تتوفر بطيف واسع من الأسماء التجارية. تُصنّف البوليميرات وفقاً لنمط الشحنة الموجودة على سلسلة البوليمير. وتدعى البوليميرات التي تملك شحنة سالبة بوليميرات أنيونية، والبوليميرات التي تملك شحنة موجبة بوليميرات كاتيونيّة، والبوليميرات التي لا تحمل شحنة تعتبر بوليميرات نونيونيّة. وتستخدم البوليميرات الأنيونيّة والنونيونيّة غالباً في المخثّرات المعدنيّة لتأمينها تجسير بين الغرويّات وتطوير نمو كدرات أكبر وأمتن (شكل 7-2ج). وتكون عادةً الجرعة المطلوبة من مساعد المخثر بنسبة 0.1 g/l إلى 1.0. وفي تخثير بعض أنواع الماء، يمكن للبوليميرات أن تحفّز تخثّراً مرضياً رغم استخدام جرعات مخففّة جداً من الشبّة. إن المزايا الكامنة لإحلال البوليميرات هي تخفيف كمية حمأة النفايات الناتجة من التخثّر بالشبّة، وكذلك في تغيير طبيعة الحمأة بحيث يمكن نزع مياهها بسهولة.

لقد استخدمت البوليميرات الكاتيونية بنجاح في بعض أنواع المياه كمخثرات أساسية في الترسيب، وبالرغم من أن كلفة وحدة البوليميرات الكاتيونية تصل بين 10 إلى 15 أمثال كلفة الشبّة، غير أن التخفيف في جرعاتها المطلوبة قد يعادل تقريباً زيادة التكلفة. إضافة إلى ذلك، وعلى خلاف حمأة هيدروكسيد الألمنيوم الجيلاتينية القوام والكبيرة الحجم، فإن حمأة البوليميرات كثيفةً نسبياً وسهلة التعامل لنزع الماء منها والتعامل اللاحق معها وطرحها في النهاية. ويمكن أحياناً استخدام البوليميرات الكاتيونيّة والنونيونيّة سويّةً لتأمين تشكّل كدرة مناسبة، بحيث تكون المخثّرات الأولية وتكون الثانية مساعدة مخثرات. وبالرغم من الخطوات الواسعة التي تمت في تطبيقات البوليميرات في معالجة المياه، لكن ما زال استخدامها الرئيس هو مساعد مخثّر أكثر من استخدامهـا كمخثـر أوليٍّ رئيس. فمعظم المياهَ

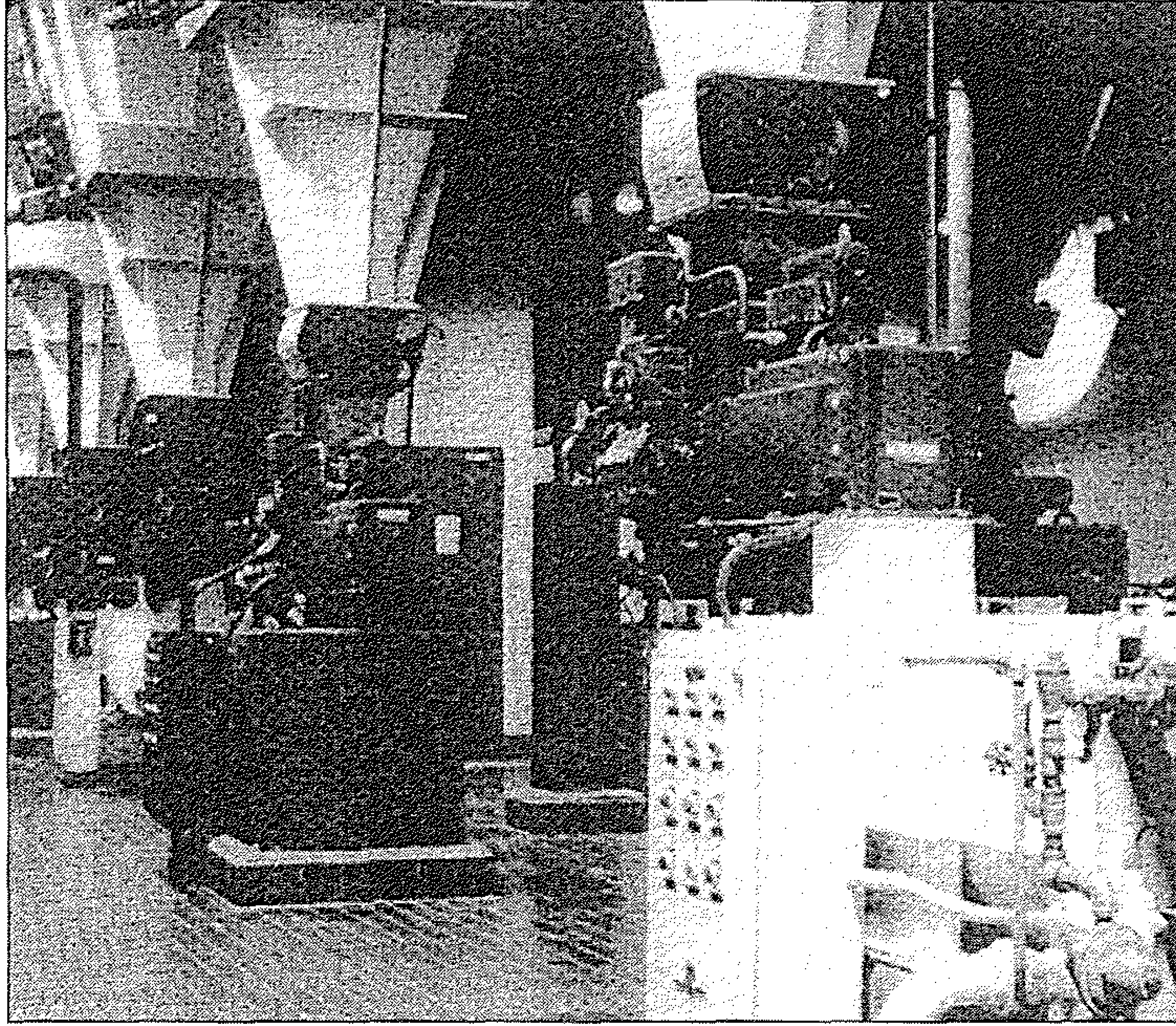
لا يمكن معالجتها باستخدام البوليميرات بمفردها، بل تحتاج إلى أملاح الألمنيوم والحديد. ويتوجب استخدام اختبارات الارتجاج وتشغيل فعليّ للمحطة، لتقدير فعاليات بوليميرات محدّدة موجودة ومتوفرة في تخثير مياه بعينها.

يمكن إضافة أحماض وقلويات لضبط قيمة الـــ pH للوصول إلى تخثّر نموذجيٍّ. والحمض الشائع المُستخدم في تخفيض قيمة pH هو حمض الكبريتيك. ويتم زيادة قيمة الـــ pH بإضافة الجير أو رماد الصودا أو هيدروكسيد الصوديوم. وهذا الأخير يتم تداوله وإضافته بصورة محلول مركّز. لقد نوقشت خصائص كلّ من الجير ورماد الصودا في الفقرة 7-17.

روافد الإمداد الكيميائية

رافد الإمداد الكيميائي (Chemical Feeder) أداة ميكانيكيّة لقياس كمية من المواد الكيميائية ونشرها في الماء بمعدل محدّد مسبقاً. تنشر الروافد السائلة مواد كيميائية بصورة محاليل أو معلّقات. بينما تنشر الروافد الجافة مواد كيميائية بشكل حبات أو مسحوق. ينبغي رفد بعض المواد الكيميائية ككلوريد الحديديك، والبولي فوسفات، وسيليكات الصوديوم بصورة محاليل، بينما يمكن رفد بعض آخر ككبريتات الحديدوز والشبّة بشكل جاف. فإن لم تنحل مادة كيميائية بسهولة، فيمكن تقديمها بشكل جاف أو بشكل معلّق شريطة تحريك المحلول باستمرار.

والروافد الجافة الثقالية دقيقة إلى حدٍ بعيد، وتتوافر بأحجام كبيرة لتقديم معدّلات رفد عالية، كما يمكن تكييفها بسهولة للتسجيل وللتحكّم الآلي. ويعتبر نمطا المضخّات الحاجزيّة والمضخات التموجيّة المنتظمة، النمطان الشائع استخدامهما في تغذية وحدات المعالجة بالمحاليل أو المعلّقات الكيميائية إلى وحدات المعالجة. تحتاج التغذية بالجير نمطاً خاصاً من الوحدات يُشار إليه باسم مطفئ الجير (Slaker Slake) (التسبب بالتسخين والتفتيت عبر المعالجة بالماء). يتمثّل التفاعل الكيميائي لإطفاء الجير بدمج مسحوق الجير مع الماء لتشكّل محلول رائب الجير $[Ca(OH)_2]$.



شكل 7-16: صورة لروافد جاذبية في محطة معالجة مياه. الوحدة إلى اليمين هي مطفئ الجير، الوحدة في المركز هي للتغذية بالشبّة

يظهر الشكل 7-16 روافد كيميائية في محطة معالجة مياه. تُغذّى من قاع وعاء قمعيٍّ، أو من خزان مخزون كيميائيٍّ يمتدّ عبر السقف إلى الطابق الذي يعلوه. تحافظ رجّاجات ميكانيكيّة ملحقة بالأوعية القمعيّة على انسياب المواد الكيميائية وخروجها منها بسهولة داخلةً إلى الروافد. بعد وزن المواد الكيميائية الجّافة في حجرات الذوبان وتحريكها باستمرار، تنساب المحاليل إما بالثّقالة إلى قنوات مفتوحة أو تُنقل بالمضخات إلى خطوط الضغط الرئيسة.

مثال 7-6

استخدمت جرعة من الشبّة قدرها 50 mg/l في تخثير مياه سطحية عكرة. (أ) ما هو مقدار القلويّة الطبيعيّة التي استهلِكت؟ (ب) ما هي التغيّرات التي حدثت في الطبيعة الأيونيّة للمياه؟ (ج) كم mg/l هيدروكسيد الألمنيوم قد نتج؟

الحل

(أ) من النص نجد أن كلّ 1 mg/l شبّة يتفاعل مع 0.5 mg/l قلويّة طبيعيّة، ولذلك فإنّ

$$\frac{\text{مياه المعالجة}}{\text{مياه الغسيل}}$$

$$\frac{0.5\,mg/l \ \text{قلوية}}{1\,mg/l \ \text{شبّة}} = (\text{شبّة}) \ 50\,mg/l$$

25 mg/l من القلويّة بصورة $CaCO_3$ =

(ب) إن 50 mg/l من الشبّة تكافئ 0.50 meq/l، ولذلك، واعتماداً على المعادلة 7-5، فإن 0.50 meq/l، من أيون الكبريتات يُضاف إلى الماء، ولن يتأثر محتوى الكالسيوم، وسيتحوّل 0.50 meq/l، من البيكربونات إلى ثاني أكسيد الكربون.

(ج) من المعادلة 7-5 نجد أن مولاً من الشبّة (600 g) سيتفاعل لينتج 2 مول من هيدروكسيد الألمنيوم (2 x 78 = 156 g)، وعليه

$$\frac{156}{600} = \frac{50\,mg/l \ \text{من جرعة الشبّة}}{1\,mg/l \ \text{من}\ Al(OH)_3\ \text{الناتجة}}$$

أو $13\ Al(OH)_3 = mg/l$

مثال 7-7

خُثّرت مياه سطحية بإضافة 30 mg/l من كبريتات الحديدوز وبكمية مكافئة من الجير. كم يبلغ وزن المخثّر المُستخدم مقدراً بالباوند الذي استخدم لكل mil gal تمت معالجتها؟ كم باوند من الجير ذي درجة نقاء 80% من CaO تطلّب ذلك؟

الحل

يبلغ استهلاك كبريتات الحديدوز

$$30\,mg/l \times 8.34\,mg/l\ \frac{lb/mil\,gal}{mg/l} = 250\,lb/mil\,gal$$

سيتفاعل وزن مكافئ من كبريتات الحديدوز (139) مع مكافئ واحد من CaO ذي درجة نقاء 80%

$\frac{28}{0.08}=$ 35)، وعليه

$$\text{جرعة الجير} = 250\ \frac{lb}{mil\ gal} \times \frac{35}{139} = 63\ lb/mil\ gal$$

مثال 7-8

بلغت جرعة الشبّة 50 mg/l لتخثير مياه بشبّة – جير. وكان من المرغوب أن يتم تفاعل 10 mg/l بصورة $CaCO_3$ فقط من القلويّة الطبيعية مع الشبّة، اعتماداً على المعادلات النظرية 7-5 و7-6 ما مقدار جرعة الجير المطلوب، إضافة إلى الـــ 10 mg/l من القلويّة الطبيعية، للتفاعل مع جرعة الشبّة؟

الحل

باستخدام الأوزان المكافئة، فإن الشبّة التي ستتفاعل مع 10 mg/l من القلويّة الطبيعية:

$10 \times (100/50) = 20$ mg/l

إن كمية الشبّة المتبقية للتفاعل مع الجير هي 50 - 20 = 30 mg/l

وكمية الجير المطلوبة للتفاعل مع 30 mg/l من الشبّة هي

بصورة CaO $30 \times (28/100) = 8.4$ mg/l

7-9 ضبط الطعم والرائحة

إن أحد أهداف معالجة المياه هو التوصل إلى مياه سائغة المذاق تكون مُرضية جمالياً. إن تكرار وجود طعم ورائحة أو لون، غير مستحبة في التجهيز بالمياه وتدفع الناس للتساؤل عن مدى سلامة هذه المياه للاستهلاك. يمكن أن يتأثر الطعم بالأملاح اللاعضوية أو بالأيونات المعدنية، أو بتنوع كبير من المواد الكيميائية العضوية التي توجد في الطبيعة أو تنتج من نفايات صناعيّة، أو أنها نواتج نمو

حيويّ. وتُعتبر الطحالب السبب الأكثر شيوعاً في وجود مشاكل الطعم والرائحة. تنشر النشاطات الأيضية لبعض المركبات روائح سمكية وعشبية وعفنة كريهة الرائحة. فالأكتينوميسيت، بكتيريا شبيهة بالعفن تنتج رائحةً عفنةً كريهة.

تتفرد المشاكل المتعلقة بالمذاق المستساغ للمياه عموماً لذا تختلف من نظام إلى نظام، ويجب بالتالي دراستها بشكل منفرد لتقدير المقاربة الأفضل لمنعها ومعالجتها. ففي معالجة المياه الجوفيّة، تكون التهوية عادةً وسيلةً فعالةً، نظراً إلى أن المركَّبات كريهة الرائحة غالباً ما تكون غازات مُذابة يمكن إزالتها من الماء الحاوية عليها. غير إن التهوية نادراً ما تكون فعّالةً في معالجة المياه السطحية لكون المواد المسببّة للرائحة تكون عادةً غير طيّارة.

ينبغي إعطاء الإجراءات الوقائية في التجهيز بالمياه السطحية الأولويّة، فإذا أمكن تتبّع التداخل المسبب للرائحة ووُجد إنه ناتج عن طرح نفايات صناعية، فإنه يمكن إزالة المصدر. أما في حالة حوض مائيٍّ أو بحيرة تعاني اخضرار مائها (أترفة)، فإن استخداماً منتظماً لمبيدات الأعشاب في المياه المحتجزة الراكدة سيكون فعّالاً في الحدّ من ازدهار الطحالب التي تؤثّر في الطعم وتتسبب بالرائحة وتسدّ المرشحات.

إن الامتزاز بالفحم هو عادةً الطريقة الأكثر فاعلية في تخفيض مستوى الطعم والرائحة في معالجة المياه. يمكن تحضير الكربون المنشّط من فحم نباتيّ المنشأ مُستمد من الأخشاب القاسية، واللغنيت، ومن قشور الجوز ومن أيّ مواد أخرى فحميّة وذلك عبر احتراق مُتحكّم به لتطوير خصائص امتزازية. تتكوّن كلّ حبّة فحم من خلايا شبيهة بخلايا أقراص العسل مع آلاف المسام جزيئية الأبعاد تستطيع امتزاز المواد ذات الرائحة الكريهة. ويتوفر الفحم المنشّط على شكل حُبيبات ومسحوق. وتُستخدم ألواح امتزاز من الكربون الحُبيبيّ بشكل واسع في معالجة المياه المدنيّة لاعتبارات اقتصاديّة، علماً أنه يستخدم في الصناعات الغذائيّة وصناعة المشروبات لتنقية المياه المنتجة. وفي معالجة الماء المدنيّة يكون الفحم

مطحوناً إلى درجةٍ مسحوق أسود غير ذوّاب يمكن استخدامه إما عبر آلات رفد إمداد جاف أو على شكل رائب، ويمكن إدخاله في أيّ مرحلة من المعالجة قبل الترشيح حيث يتوفر مزج مناسب لتشتيت الفحم وحيث يكون زمن التّماس 15 دقيقة أو أكثر قبل الترسيب أو الترشيح. ويتم تقدير النقطة النموذجيّة عموماً بأسلوب التجربة والخطأ واستناداً إلى التجربة السابقة. ولكون الفحم والكلور يتفاعلان، يجب عدم إضافتهما سويّة بشكل متزامن أو متعاقب دون فاصل زمنيٍّ مناسب.

يمكن أكسدة المركَّبات المسببة للطعم والرائحة بالكلورة، وثاني أكسيد الكلور، وبرمنغنات البوتاسيوم ، أو بالأوزون. وربما تكون الكلورة الشديدة غير مرغوبة نظراً إلى تكوُّن ميثان ثلاثي الهالوجين وأحماض خلات الهالوجين. (جدول 5-1 في الفقرة 5-3). وثاني أكسيد الكلور والناتج من دمج محاليل ذات كلوريت الصوديوم وكلور له القوة المؤكسدة نفسها للكلور بدون أن يشكل ميثان ثلاثي الهالوجين، وبالرغم من أنه يؤكسد بعض المركَّبات العضوية الأريجية، لكنه غير فاعل تجاه الكثير من المركَّبات الأخرى ذات الرائحة. أما برمنغنات البوتاسيوم فهي مادة كيميائية قوية الفاعلية في أكسدة مجموعة واسعة التنوّع من المركّبات المنتجة للطعم والرائحة. ونظراً إلى إن أحد تفاعلاتها في الماء ينتج ثاني أكسيد المنغنيز (المعادلة 7-28)، فإنه يتوجب إضافتها في المعالجة قبل الترشيح. أما استخدام الأوزون فهو محدود في الولايات المتحدة.

7-10 المواد الكيميائية العضوية الصناعيّة

تتضمّن المواد الكيميائية العضوية الصناعية (SOCs) عدداً كبيراً من المواد الكيميائية المصنّعة والمُستخدمة في الصناعة، والزراعة وفي التجهيزات المنزلية. وبعضها مواد سامة وخطر تسببها بالسرطان قائم، كما إنها خطيرة وتسبب تضرّر الأعضاء الحيويّة كالكبد والقلب والكليتين، إذا تمّ أخذها بجرعات صغيرة لفترات طويلة. بينما يعيق بعض آخر منها الجهاز العصبي. والمستويات الأعظمية لتلوّث

مياه الشرب بالمواد الكيميائية العضوية والعضوية الطيّارة منخفضة جداً، إذ تتراوح بين 0.1 mg/l و0.0002 (جدول 5-5 في الفقرة 3-5).

يمكن أن تتلوّث المياه السطحية بالجريان السطحي القادم من الأراضي الزراعيّة، وبطرح مياه الصرف الصناعيّ، ومن تسرب المواد الكيميائيّة. توفر طرق المعالجة التقليدية للمياه بواسطة التخثير والترسيب والترشيح إزالة محدودة نظراً إلى أن (SOCs) المُذابة نادراً ما تمتز من قبل هيدروكسيدات المعادن المتشكّلة بواسطة المواد الكيميائية المُخثرة، وكذلك من قبل البوليميرات. ويعتبر استبدال المخثّرات والبوليميرات، أو ضبط pH، أو استخدام مسحوق الكربون المنشّط (Powdered Active Carbon, PAC) بدائل يُحتمل أن تحسن المعالجة.

إن الـــ (PAC) مسحوق ناعم جداً يُضاف إلى روبة الماء في أيّ موقع من مواقع عمليات المعالجة قبل الترشيح. وينبغي أن يتم مزجهما بشكل مناسب في نقطة إضافته وذلك لضمان توزعها ولتأمين زمن تماس طويل إلى حد كاف لتأمين الامتزاز. وبالرغم من أن الـــ (PAC) ممتزّ فاعل للمركبات العضوية التي تسبب الطعم والرائحة، بجرعة تصل إلى 5 mg/l بزمن تماس يصل إلى 10 إلى 15 دقيقة، إلا أن هذه الإضافة غير ناجحة في امتزاز (SOCs). ويُعزى هذا الامتزاز السيئ إلى بنية مسام الـــ (PAC)، وإلى زمن التّماس القصير، وإلى تداخل ناتج من امتزاز مركبات عضويّة أخرى.

ويمكن تحقيق إزالة أكثر فاعلية لـــ (SOCs) بالترشيح عبر طبقة من الكربون الحُبيبي المنشّط (Granular Active Carbon, GAC) وذلك بسبب التّماس القريب مع المياه لفترة امتزاز زمنيّة أطول. ويتمتع الـــ (GAC) المصنّع من الفحم بأفضل خصائص فيزيائيّة كالكثافة، وحجم الحُبيبات، ومقاومة الحُبيبات للتآكل، ومحتوى الرماد، وهي تعتبر خصائص أساسية في الغسيل المرتدّ للمرشح وإعادة تنشيط الـــ (GAC) عبر تسخينه بالفرن. تُجرى قبل تصميم المرشح، دراسات للمحطة

التجريبية لاختيار أفضل نوع من أنواع الكربون، ولتقدير زمن الاتصال المطلوب، وللتأثيرت الناتجة من تغيّر نوعية المياه قيد المعالجة، ولفاعلية الكربون المنشّط.

يمكن للمياه الجوفية أن تكون ملوّثة نتيجة غسيل ورشح المبيدات الزراعية أو نتيجة التسرب من طرح غير سليم للمواد الكيميائية العضوية الطيّارة الصناعية (VOCs). وفي حين تكون الـــ (VOCs) مستقرة وثابتة في المياه الجوفيّة، فإنها نادراً ما توجد في المياه السطحيّة. وتُزال من المياه الجوفية بعملية التهوية أو بعملية الامتزاز بواسطة الـــ (GAC). والطريقة الوحيدة الفعّالة للتهوية تتم بواسطة إزالتها بالهواء في برج تيار معاكس محشوّ، حيث يتسرب الماء نحو الأسفل ببطء عبر الحشوة بينما يُضخ الهواء نحو الأعلى عبر فتحات الحشوة. ولكن ونتيجةً لكون مستويات التلوّث الأعظمية المسموح بها متدنيةً، فقد لا تكون التهوية قادرةً على تخفيض تراكيز الملوّثات إلى مستوى معايير مياه الشرب. فضلاً عن ذلك، فإن التهوية غير قابلة التحقيق في الطقس البارد بسبب الإزالة الضئيلة للملوّثات تحت درجات حرارة متدنيّة، واحتمال تشكّل الجليد على حشوة البرج. يمكن تطبيق عمليات الامتزاز بواسطة مرشح الـــ (GAC) الأكثر كلفةً بدلاً من الإزالة بالهواء حيث يمكن أن تطبق هذه العمليات كمرحلة ثانية تلي إزالةً جزئيّةً بواسطة التهوية.

11-7 الفلورة

خلال العقود الثلاثة الأخيرة، أُجريت دراسات كثيرة حول العلاقة التي تربط تركيز الفلور الموجود بالمياه وحالات حدوث نخر الأسنان. لقد قاد استهلاك المياه الحاوية على الفلور الطبيعي إلى العلاقات الثلاثة المميزة، وذلك بناءً على فحص أسنان الأطفال: تسبّب محتوى عالٍ من الفلور إمّا بحدوث تسمم الأسنان بالفلور (تبرقش الأسنان Mottling of Teeth) أو بتفاقمه، في حين تراجعت حالات تحلّل الأسنان أو غيابها أو تساقطها، وتبعاً للمناخ فإن الحالة النموذجية لتركيز الفلور تتراوح بين 0.6 mg/l و1.2، وهي تراكيز ينتج منها تراجع أعظمي لنخر الأسنان، إنما بلا

تبرقش ما يعتبر أمراً جمالياً. ولدى هذا التركيز النموذجي قد تحدث بعض الفوائد، لكن تراجع تحلّل الأسنان لا يكون بالقوة نفسها، إضافةً إلى أن تناقص مستويات الفلور مرتبط بزيادة حالات نخر الأسنان. تهدف الفلورة المراقبة (Fluoridation) في معالجة المياه إلى رفع المحتوى الطبيعي للفلور إلى مستويات نموذجيّة تُفضي إلى النتائج المفيدة نفسها. وتعتمد المستويات المبينة في الجدول 5-2 على درجة الهواء، نظراً إلى كونها تؤثّر في كمية الماء التي يستهلكها الناس. وتشير دراسات أجريت مؤخراً أن الفلور يفيد أيضاً كبار السن إذ يقلل من هشاشة العظام وتصلب الشرايين. ومما لا شك فيه هو أن وجود الفلور في مياه الشرب يمنع نخر الأسنان، لذا تعتبر الفلورة المراقبة أحد إجراءات الصحة العامة المقبولة. ويستهلك قرابة نصف الشعب الأمريكي مياهاً ذات محتوى قريب من المحتوى النموذجي للفلور، ومعظمهم يقطنون في تجمّعات تضيف مركباً كيمياوياً بشكل متعمّد لتوفير أيون الفلور.

إن مركبات الفلور الثلاثة الأكثر استخداماً في معالجة الماء هي فلوريد الصوديوم، وسيليكوفلوريد الصوديوم (فلوريد الصوديوم السليكوني)، وحمض الفلوروسيليسيك، والذي يعرف أيضاً باسم هيدروفلوروسيليسيك، وهكسافلوروسيليسيك، أو حمض سيليكوفلوريك. يبين الجدول 7-2 بعض خصائص هذه المركبّات. إن فلوريد الصوديوم، وبالرغم من أنه أحد أغلى هذه المركبات بالنسبة إلى كمية الفلور المتاح، إلا أنه أكثرها استخداماً. ويُفضّل شكله المبلور إن تضمّن الأمر معالجة يدوية، نظراً إلى تسبّب غياب المسحوق الناعم في هذا الشكل بجعل غبار فلوريد الصوديوم في حدّه الأدنى. أما حمض فلوروسيليسيك فهو سائل عديم اللون شفاف، هائج ذو أبخرة، وأكّال، وذو رائحة لاذعة حادة، وذو تأثير مهيّج للبشرة. والمصدر الرئيس لهذا الحمض هو الناتج الجانبي لمصانع السماد الفوسفاتي. إن سيليكوفلوريد الصوديوم والذي هو ملح لحمض الفلوروسيليسيك هو المركب الأكثر استخداماً نتيجة لسعره المنخفض بالدرجة الأولى. ويتوفر تجارياً مسحوق مبلور أبيض عديم الرائحة بدرجات مختلفة للتطبيق النموذجي بواسطة روافد إمداد فرعيّة مختلفة.

جدول 7-2: خصائص مركبات الفلور الثلاثة الشائع استخدامها

	فلوريد الصوديوم	فلوريد الصوديوم السليكوني	حمض الفلوروسيليسيك
الصيغة	NaF	Na_2SiF_6	H_2SiF_6
نسبة أيون الفلور	45	61	79
الوزن الجزيئي	42	188	144
نسبة النقاوة التجارية	90 إلى 98	98 إلى 99	22 إلى 30
الشكل التجاري	مسحوق أو بلورات	مسحوق أو بلورات ناعمة	سائل
الجرعة (lb/mil gal) اللازمة لـــ 1.0 mg/l لنقاوةٍ محدّدة مُشار	(%98)18.8	(%98.5) 14.0	(%30) 35.2

ولا يوجد في الواقع نمط واحد محدّد لنظام فلورة قابل للتطبيق في كلّ محطات معالجة الماء. ويتم انتقاء النظام بناءً على حجم ونمط المرفق المائي، وعلى توفر المواد الكيميائيّة، والكلفة، ونمط كادر التشغيل المتوفر. ففي المنشآت الصغيرة، يتم على الدوام تقريباً انتقاء نمط تغذية المحلول نفسه، والذي يتم تحضيره يدوياً. ويتكون نظام إمداد بسيط من خزان محلول يوضع على ميزان ذي منصة وذلك لتسهيل الوزن خلال التحضير والإمداد، ومن مضخة قائسة للمحلول مزوّدة بشبكة أنابيب من الخزان إلى خط المياه الرئيس لإضافة المحلول. وإذا استخدم حمض فلوروسيليسيك، فيمكن أن يُخفّف بالماء في خزان الإمداد، أو يُضاف بكامل قوته من البرميل المشحون به. أما إن استُخدم فلوريد الصوديوم، فيمكن أن يُحضّر محلول الإمداد بالقوة المطلوبة أو كمحلول مشبع في خزان الإذابة. إن لفلوريد الصوديوم ذوبانية قصوى قدرها 4.0% (18000 mg/l فلور)، مستقلة من حيث المبدأ عن درجة حرارة الماء. وتتوفر المُشبَعات تجارياً لتحضير محلول مُشبعَ

وذلك بالسماح للمياه بالرشح عبر طبقة تحوي فائضاً من فلوريد الصوديوم. ينبغي إزالة عسرة المياه المُستخدمة إن تجاوزت عسرتها قيمة 75 mg/l. وبينما يكون NaF ذوّاباً للغاية، فإن فلوريد الكالسيوم والمغنيزيوم يشكّلان رواسب يمكن أن تشكّل قشوراً وتسد الروافد والخطوط.

ينبغي أن يعاير الرافد بمحلول الفلور مع انسياب الماء. وإذا كان للمضخة معدّل رافد ثابت، فيمكن أن يُربط بفاصل تشغيل وإطفاءٍ كهربائيّ مع تشغيل المضخة وإطفائها، ويمكن ضبط إدخال الفلور مع معدّل طرح الماء. كما يمكن في المحطات الصغيرة استخدام فاصل لعدّاد مياه لمعايرة الرافد. ومن حيث المبدأ فإن الفاصل عبارة عن مفتاح معشق مع حركة عدّاد الماء، ومن ثم فهو يوفر تماساً عند الوصول إلى تصريف طرح حجمي محدّد. ويمكن استخدام نبضة من الفاصل لتشغيل الرافد بشكل متناسب مع استجابة العدّاد للانسياب.

تستخدم المنشآت المائيّة الكبرى روافد جافة لتزويد سيليكوفلوريد الصوديوم أو روافد محاليل لتزويد حمض الفلوروسيليسيك مباشرة (شكل 7-20). تستخدم أنظمة التحكم الأوتوماتيكيّة عدّادات ومسجّلات انسياب لضبط معدّل التغذية. أما في المنشآت المائيّة الصغيرة، فتُستخدم مضخّات حاجزيّة إلكترونيّة ذات إزاحةٍ موجبة وذلك لمعايرة حمض الفلوروسيليسيك بالنسبة إلى معدّل انسياب الماء.

ينبغي ضخ الفلور في نقطة تمر عبرها كافة المياه المعالجة. فإن لم توجد نقطة مشتركة واحدة تفي بالغرض، فيتطلب الأمر تجهيزات منفصلة للرفد بالفلور لكل مرفق مياه. وفي نظام المضخة البئرية، يمكن إضافة الفلور في أنبوب طرح تصريف كلّ مضخة، أو في الخط المشترك المؤدي إلى خزان المخزون. يمكن للفلور أن يُضاف في محطة الماء عبر قناة أو عبر الخط الرئيس القادم من المرشحات أو يُضاف مباشرة في حوض الماء النقي. ويتوجّب إضافة الفلور بعد الفلترة أنّى كان ذلك ممكناً، وذلك تفادياً لأي ضياع قد ينجم عن تفاعلاته مع المواد

الكيميائية الأخرى. وما يدعو للقلق على وجه الخصوص هو التخثّر مع جرعات ثقيلة من الشبّة مترافقة مع إزالة عسرة الجير – الصودا. لذا ينبغي أن تكون نقاط حقن الفلور بعيدةً ما أمكن عن أيّ مادة كيميائية تحوي الكالسيوم وذلك للتقليل ما أمكن من خسارة الفلور بالترسيب.

يتضمّن الإشراف على فلورة الماء اختبار محتوى الفلور في كلّ من المياه الخام والمياه المعالجة. ويجب أن يكون تركيز الفلور في المياه المعالجة هو الكمية الموصى بها في معايير مياه الشرب. يجب حفظ سجلات أوزان المواد الكيميائية المُضافة وحجم المياه المعالجة للتحقّق من أن الكمية الصحيحة من الفلور قد تمت إضافتها. ويجب أن تتساوى كمية الفلور المُضافة مع الكمية المحسوبة كيميائياً من زيادة تركيز الفلور وكمية المياه المعالجة.

مثال 7-9

يضيف رافد سائل إلى تجهيزٍ بالمياه محلولاً مشبعاً بنسبة 4.0% بفلوريد الصوديوم، متسبباً بزيادة تركيز الفلور من المستوى الطبيعي البالغ 0.4 mg/l إلى 1.0 mg/l ويحتوي مسحوق NaF التجاريّ على نسبة وزنيّة قدرها 45% من الفلور، (أ) احسب كم ليبرة من NaF تتطلب معالجة مليون gal؟ (ب) ما مقدار جرعة محلول ذي تركيز 4.0% من NaF في مليون gal؟

الحل

(أ)
$$\frac{1.0\ \text{mg F/l} - 0.4\ \text{mg F/l}}{0.45\ \text{mg F/ mg NaF}} = \frac{\text{مطلوب NaF}}{\text{mil gal}}$$

$$\frac{\text{lb / mil gal}}{\text{mg/l}} \times 8.34 = 11.11\ \text{lb}$$

يحتوي محلول 4.0% NaF على 40.000 mg من NaF/l

و $0.45 \times 40.000 = 18000$ mg F/l .

(ب) $\frac{\text{جرعة الصوديوم}}{\text{مليون غالون}}$

$$\frac{1000000 \text{ mil gal } (1.0 \text{ mg/l} - 0.4 \text{ mg/l})}{18000 \text{ mg/l}} = 33.3 \text{ gal}$$

مثال 7-10

سجّل رافدٌ جاف فقد 10 kg من سيليكوفلوريد الصوديوم في معالجة 7000 m^3 من الماء. يستدل من الجدول 7-2 أن 98% من Na_2Sif_6 و 61% من المركب النقي هو F. احسب تركيز أيون الفلور المُضاف إلى المياه المعالجة.

الحل

تركيز الفلور:

$$= \frac{10 \text{ kg} \times 1000 \text{ g/kg} \times 0.98 \times 0.61}{7000 \text{ m}^3} = 0.85 \text{ mg/l}$$

7-12 الكلورة

الكلور هو المادة الكيمائيّة الشائعة الاستخدام في تعقيم الماء. وبديل الكلور في ذلك هو ثاني أكسيد الكلورين، بالرغم من أنه يستخدم عادةً لضبط الطعم والرائحة. والبديل الآخر للكلور هو الأوزون، ولكن وبسبب كلفته العالية فإنه نادراً ما يتم استخدامه بمفرده للتعقيم. ومن الفوائد الأخرى للأوزنة خفض النواتج الجانبية للتعقيم، ضبط الطعم والرائحة وتحسن التخثير.

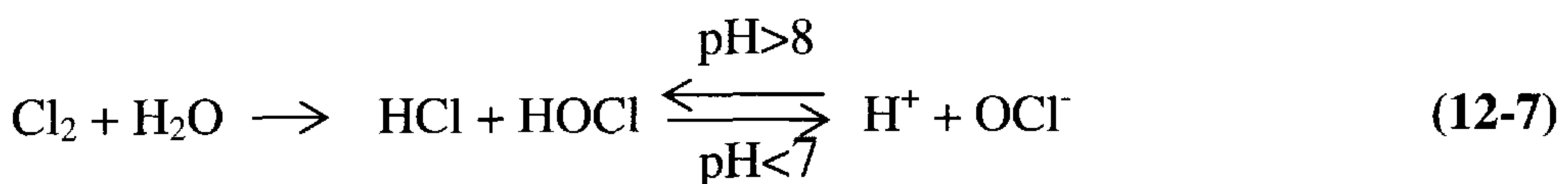
كيمياء الكلور

الكلور غاز سام أصفر مخضر أثقل من الهواء. ويعطي حجماً محدّداً من الكلور السائل محصوراً في حاوية تحت الضغط ما يقارب 450 مثل حجمه من غاز الكلور. وهو عامل مؤكسد قويّ يتفاعل مع معظم العناصر والمركبّات. والكلور الرطب أكّال للغاية، لذا ينبغي أن تكون لأجزاء القنوات والروافد التي بتماس معه

خرائــط خاصةً أو أن تكون غير معدنية. وأبخرة الكلور مهيّجة لجهاز التنفس ويحتمل تسببها بإصابات خطيرة في حال التعرّض لتركيز عال من الكلور.

والهيبوكلوريت أملاح حمض الهيبوكلوروز (HOCl). وهيبوكلوريت الكالسيوم هو الشكل الجاف السائد المُستخدم في الولايات المتحدة. يتوافر هيبوكلوريت الكالسيوم ذو المذاق القويّ تجارياً بصورة حُبيبات ومسحوق وأقراص سهلة الذوبان في الماء، ويحوي ما يُقارب 70% من كلور مُتاح. يتوفر هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) تجارياً بشكل محلول بتراكيز تتراوح بين 5% و15% من كلور مُتاح. وتستخدم معظم محطات معالجة الماء الكلور السائل، نظراً إلى كونه أرخص سعراً من الهيبوكلوريت، لذا يقتصر استخدامه على برك السباحة والمنشآت المائيّة الصغيرة وحالات الطوارئ.

يتحد الكلور مع الماء ليشكل حمض الهيبوكلوروز، والذي يستطيع بدوره أن يُؤيّن إلى أيون الهيبوكلوريت. وتحت درجة pH = 7، يبقى معظم HOCl غير مؤين، بينما فوق درجة pH = 8 يكون معظمه بشكل OCl^{-}، معادلة 12-7



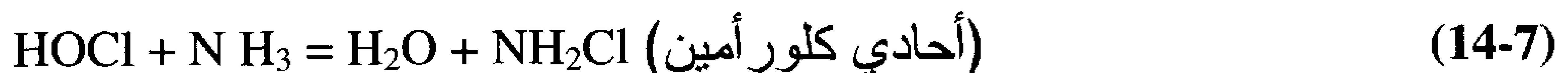
$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HCl + HOCl \underset{pH<7}{\overset{pH>8}{\rightleftarrows}} H^+ + OCl^- \qquad \textbf{(12-7)}$$

تعطي إضافة الهيبوكلوريت إلى الماء أيون الهيبوكلوريت مباشرة

$$Ca(OCl)_2 + H_2O = Ca^{++} + HCl + 2\ OCl^- + H_2O \qquad \textbf{(13-7)}$$

ويُعرف الكلور الموجود في الماء بشكل حمض الهيبوكلوروز وأيون الهيبوكلوريت، بأنه كلور حرّ مُتاح.

يتفاعل الكلور بسهولة مع الأمونيا في الماء ليشكل الكلورأمين كالآتي:



$HOCl + N\,H_3 = H_2O + NH_2Cl$ (أحادي كلورأمين) **(14-7)**



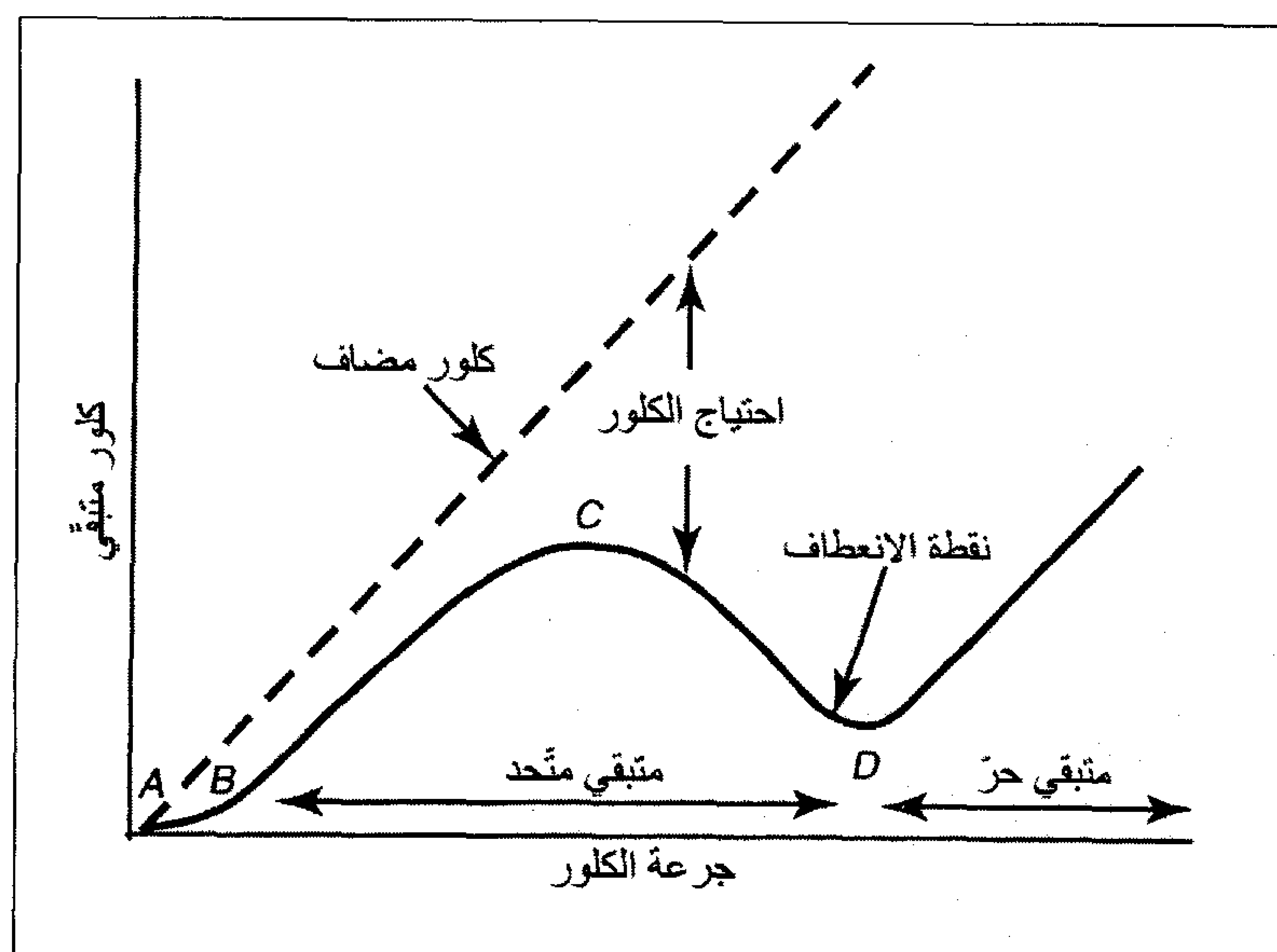
$HOCl + NH_2Cl = H_2O + NHCl_2$ (دي كلورأمين) **(15-7)**



$HOCl + NHCl_2 = H_2O + NCl_3$ (ثالث كلورأمين) **(16-7)**

تعتمد نواتج التفاعل المتشكّلة على درجة pH، وعلى درجة الحرارة، والزمن، والنسبة الأولية للكلور إلى الأمونيا. يتشكّل الأحادي كلورأمين والـــ دي كلورأمين في مجال pH يتراوح بين 4.5 و8.5. وفوق مجال pH أعلى من 8.5 يوجد أحادي كلورأمين عموماً بمفرده، بينما في مجال pH أقلّ من 4.4 ينتج ثالث كلورأمين. ويُعرف الكلور الموجود في اتحاد كيميائي مع نتروجين الأمونيا أو مع مركبات النتروجين العضوي، بالكلور المتّحد المُتاح. (لقد وضحت خطوات الفحص المخبري للكلور المتاح في الفقرة (2-11)).

والكلور المتبقي الحر المتاح (Free Available Residual Chlorine) هو الكلور المتبقي الموجود في الماء كحمض هيبوكلوروس أو أيون الهيبوكلوريت. أما الكلور المتبقي المتّحد المُتاح فهو المتبقي الموجود في اتحاد كيميائي مع الأمونيا (كلورأمين) أو مركبات النتروجين العضويّة. أما احتياج الكلور فهو الفرق بين الكمية المضافة للمياه وكمية الكلور الحر والمتحد المُتاحين والمتبقيين عند نهاية فترة تماس محدّدة.



شكل 7-17: منحني نموذجي لكلورة نقطة الانعطاف

وعندما يُضاف الكلور إلى مياه حاوية على عناصر مرجعة وأمونيا، فسوف تطوّر متبقيات الكلور منحنياً مشابهاً لذاك المبين في الشكل 7-17. يتفاعل الكلور بادئ الأمر مع العناصر المرجعة الموجودة ولا تتشكّل أيّ متبقيات قابلة للقياس، كما هو موضّح في جزء المنحني الممتد من A إلى B. إن جرعة الكلور لدى B هي الكمية المطلوبة للإيفاء بمتطلبات مفرزات العناصر المرجعة (تتضمّن المفرزات الشائعة في الماء ومياه الصرف، النتريت وأيون الحديدوز، وكبريتيد الهيدروجين).

إن إضافة الكلور بكميات زائدة عن الحاجة لتصل إلى النقطة B تتسبّب بتشكّل الكلورأمين. ويُحسب أحادي كلورأمين وثاني كلور أمين عادةً سويّة نتيجة وجود ضوابط قليلة تتحكّم بتشكلهما. وتُحسب كمية كلّ منهما بالدرجة الأولى بواسطة pH. وعلى ذلك فإن الكلورأمين المتشكّل على هذا النحو، يظهر بقايا كلور متاح وهو فاعل في التعقيم. وعندما تتفاعل كلّ الأمونيا مع بقايا الكلور، يبدأ بقايا كلور حر متاح بالتشكّل (النقطة C على المنحني). ومع ازدياد الكلور الحر المتاح، يتأكسد الكلورأمين المتشكّل سابقاً. ويتسبب هذا الأمر بتشكّل مركبات نتروجين مؤكسدة، كأكسيد النتريت، والنتروجين، وثالث كلوريد النتروجين، والذي يقوم بدوره باختزال بقايا الكلور، كما هو ظاهر في المنحني بين C وD.

وحالما يتأكسد معظم الكلورأمين، يشكّل الكلور الإضافي المُضاف إلى الماء متبقياً متعادلاً يُستدلّ عليه بالجزء الصاعد من المنحني لدى D. ويشار عادةً إلى النقطة D بنقطة التغيّر، حيث يصبح كلّ الكلور المضاف بعدها كلوراً حراً متاحاً. ويمكن لبعض الكلورأمين المقاوم أن يبقى بعد النقطة، ولكن أهميته النسبية تبقى ضئيلة.

التعقيم

إن أكثر تطبيقات الكلورة شيوعاً هو تعقيم الماء بهدف تحطيم العضويات المجهرية المسببة للأمراض في البشر. ينتج الفعل المعقم للكلور من التفاعل الكيميائي بين HOCl وبنية الخلية المكروبية إذ يعطل العمليات الضرورية لحياتها. ويعتمد معدّل التعقيم على تركيز وشكل متبقي الكلور المتاح، وزمن التّماس، والـــ pH،

ودرجة الحرارة، وعوامل أخرى. ويعتبر حمض الهيبوكلوروز أكثر فاعلية من أيون الهيبوكلوريت، ولذلك تتناقص قوة متبقي الكلور الحر مع ازدياد الــ pH. وتأثير الكلور المتّحد المُتاح المؤكسد أقلّ كثيراً عن ذاك الذي يتمتع به متبقي الكلور الحر.

إن الحدّ الأدنى لمتبقيات الكلور ولأزمنة التّماس الضرورية لتعطيل الفيروسات وتخريب كييسات الابتدائيات، أعلى وأكبر على نحو ملحوظ عن تلك الضرورية لتدمير الباكتيريا. ولذلك تتضمّن معالجة المياه السطحية تخثيراً وترشيحاً لإبعاد كييسات الابتدائيات وبيوض الديدان بالمعنى الفيزيائي، وكذلك لإنقاص كثافة الفيروسات، متبوعاً بالكلورة لتعطيل الفيروسات والبكتيريا المتبقية. لقد أثبتت الممارسة المتمثلة بإيجاد متبقي كلور في المياه الداخلة إلى نظام التوزيع، أنها مُرضية من حيث توفير الوقاية. وهي تتطلّب كلورة نقطة التغير، إن احتوت المياه السطحية أمونيا مذابة (شكل 7-17).

وأحياناً يتوفر كلور متحدّ متبقي أكثر من مقدارالكلور الحر المتبقي في المياه المعالجة الداخلة إلى نظام التوزيع للإبقاء على متبقٍ واقٍ لضبط نمو البكتيريا وللتحكّم بالنمو الباكتيري في شبكة أنابيب التوزيع.

ومقارنةً بكلورة المتبقي الحر، تتمثّل مزايا كلورة المتبقي المتحد بأن الكلورأمين أقلّ تفاعلاً وبأن متبقي الكلور يمكن الاحتفاظ به لفترة زمنيّة أطول من دون الحاجة إلى إعادة كلورة. فمثلاً، يمكن إضافة متبقٍ متحد إلى مياه معالجة قبل ضخّه في خطّ أنابيب طويل إلى نظام التوزيع للمدينة. فإن لم يكن هناك أمونيا طبيعيّة كافية في المياه تضاف أمونيا لامائيّة عبر معدات رفد شبيهة بتلك المُستخدمة للكلور.

الأكسدة

يمكن لكبريتيد الهيدروجين الموجود في المياه الجوفية أن يتحوّل بسهولة إلى أيون الكبريتات باستخدام الكلور.



$$H_2S + 4Cl_2 + 4H_2O = H_2SO_4 + 8HCl \qquad \textbf{(17-7)}$$

قد تُستخدم كلورة نقطة التغيّر في معالجة المياه السطحية للقضاء على الطعم والرائحة غير المستحبين وللتخلص من البكتيريا ولجعل النمو الحيوي على

المرشحات والنمو اللاحق في أنظمة التوزيع في حدّه الأدنى. ولكن يمكن لكلورة نقطة التغيّر للمياه السطحية الملوّثة التسبب بتشكّل ميثان ثلاثي الهالوجين (ميثان ثلاثي الهيدروجين) وأحماض خلات الهالوجين.

كلورة أنظمة التوزيع

يجب اختبار الأنبوب الرئيس الجديد بعد تركيبه من حيث تحمله للضغط، حيث يشطف لإزالة كلّ الأوساخ والمواد الغريبة، ومن ثم يتم تعقيمه بواحدة من الطرق التالية قبل وضعه في الخدمة. يتضمّن الرفد المستمرّ بالماء تجهيزاً بالماء إلى الأنبوب الجديد بمحتوىً من الكلور لا يقلّ عن 50 mg/l. يقوم إما مُكلور يُغذّى بمحلول، أو مغذٍ بالهيبوكلوريت بحقن الكلور في الماء الذي يملأ الأنبوب الرئيس. وينبغي أن تبقى المياه المُكلورة في الأنبوب لمدة 24 hr كحدٍ أدنى تكون خلالها كلّ الصمامات والفوهات على امتداد الخط الرئيس قيد العمل للتأكّد من تعقيمها. وبنهاية الـــ 24 hr فإن ينبغي أن يتبقى ما لا يقلّ عن 50 mg/l من الكلور المتبقي. وفي طريقة الضربة القوية، تتمّ تغذية الأنبوب الرئيس بتيار مستمرّ من الماء بتركيز كلور قدره 300 mg/lعلى الأقلّ. ويُضبط معدّل الانسياب بحيث يتوفر تماس بين عمود المياه المُكلورة والسطوح الداخلية للأنبوب الرئيس لمدة لا تقل عن 3 hr وبمرور ضربة تيار الماء في الوصلات الأخرى، تبدأ الصمامات بالعمل لضمان تعقيم التفرعات الملحقة بها. وتستخدم هذه الطريقة بصورة أساسية في الأنابيب الرئيسة ذات الأقطار الكبيرة حيث تكون تقنية التغذية المستمرّة غير عملية. أما طريقة الحبوب، فبالرغم من شيوع استخدامها في الأنابيب الرئيسة صغيرة الأقطار، إلا أنّها أقلّ الطرق قبولاً، إذ إنها تحوّل دون الغسيل الأولي. توضع أقراص هيبوكلوريت الكالسيوم في كلّ مقطعٍ من الأنبوب، وفي كلّ فوهة، وفي كلّ التفرعات في أثناء التركيب. بعد ذلك يتم ملء الأنبوب الرئيس الجديد بالماء لإذابة الأقراص دون شطفها إلى النهاية الأخرى للأنبوب. ويبقى المحلول النهائي الذي ينبغي أن لا يقلّ تركيز الكلور المتبقي فيه عن 50 mg/l بتماس لمدة 24 hr على الأقلّ. وبعد اتباع التعقيم بواحدة من الطرق

المذكورة ينبغي نزح المياه المُكلورة وتصريفها بواسطة مياه شرب. وقبل وضع الأنبوب الرئيس في الخدمة ينبغي القيام بفحوصات ميكروحيويّة.

يتم عزل الأنبوب المكسور عبر إغلاق أقرب الصمامات. وتتضمّن الخطوة الأولى للإصلاح غسل المقطع المكسور لإزالة التلوّث مع الضخ لتصريف الماء من الخندق. ويتضمّن التعقيم الأدنى تنظيف المقاطع الجديدة للأنبوب وملئها بمحلول 5% من الهيبوكلوريت قبل التركيب وشطف الأنبوب الرئيس من كلا الطرفين قبل إعادة النظام إلى الخدمة. وأنّى سمحت الظروف ينبغي عزل المقطع الذي تمّ إصلاحه وتعقيمه بالإجراءات الموصوفة للأنابيب الجديدة.

كما يتوجّب تعقيم الخزّانات والأحواض المائيّة قبل وضعها بالخدمة أو بعد التفتيش والتنظيف. وإحدى الطرق لذلك هي إضافة مباشرة للكلور إلى الماء التي ستملأ الخزان باستخدام إمّا الهيبوكلوريت أو جهاز مكلور محمول يغذّي المحلول. والإجراء القياسي في ذلك هو الاحتفاظ بمتبقي 50 mg/l من الكلور لمدة 6 hr على الأقلّ. أما الطريقة البديلة فهي بخّ الجدران والسطوح الأخرى إن كان ذلك ممكناً بمحلول حاوٍ على 500 mg/l من الكلور المتاح.

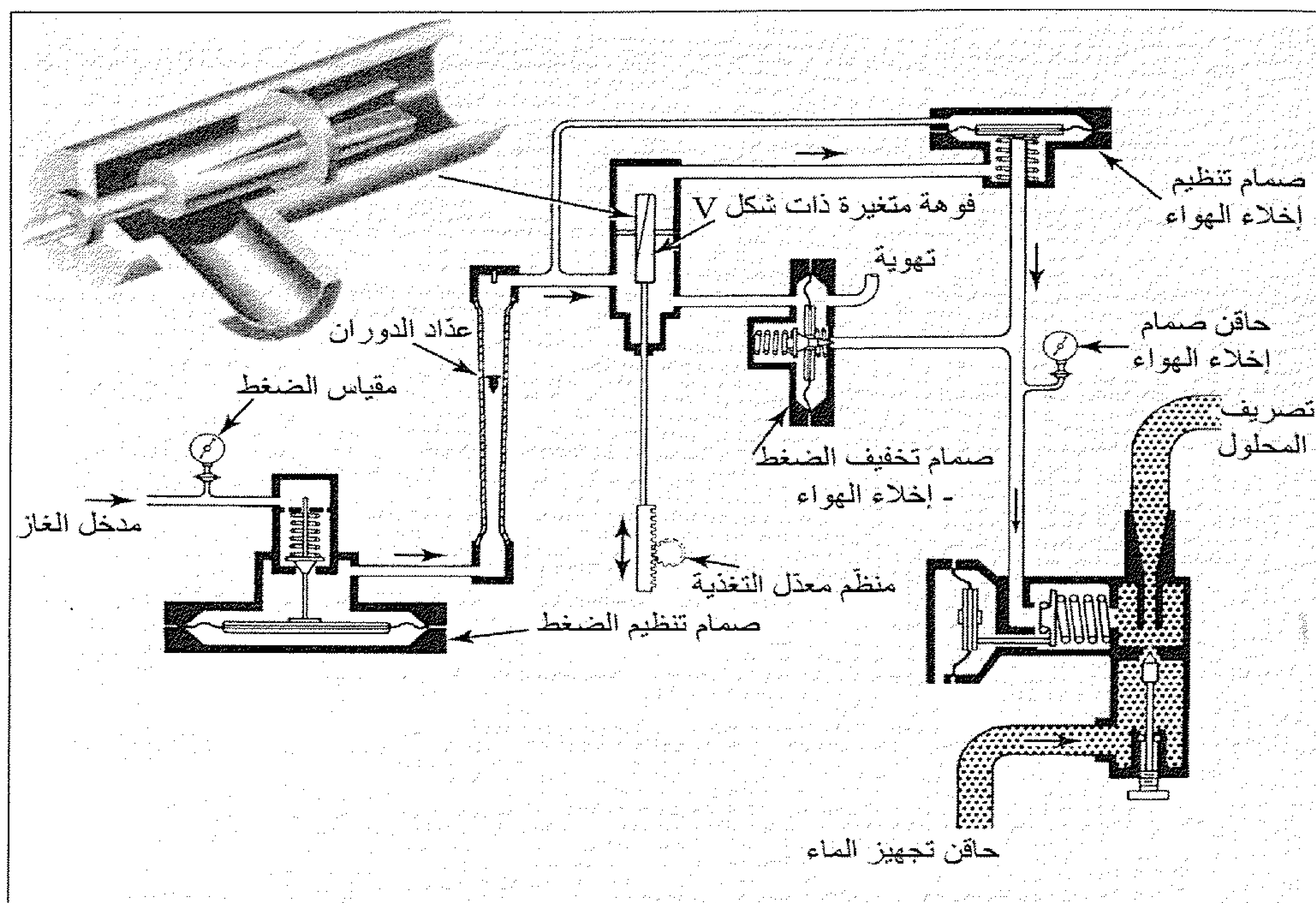
بعد تركيب الآبار أو إصلاحها، يتم التعقيم باستخدام 100-50 mg/l من الكلور الحر المتاح لمدة 12 hr إلى 24. ويجب تشغيل البئر الجديدة حتى يصبح ماؤها خالياً عملياً من العكورة. تضاف كمية من محلول الكلور تعادل على الأقلّ ضعفي حجم الماء في البئر عبر الأنبوب أو عبر خرطوم. تُغسل بعد ذلك أسطوانة المضخة والأنبوب الهابط بمحلولٍ كلوريٍّ قوي مع إنزال مجموعة المضخة ضمن الإكساء. وبعد فترة تماس دنيا لا تقل عن 12 hr، يتم ضخ المياه المُكلورة وتصريفها.

المعدات والروافد

يتم شحن الكلور السائل في أسطوانات فولاذية مضغوطة. والأحجام الشائعة هي 100 أو 150 باوند. ولكن قد تُستخدم في المنشآت الكبرى حاويات سعتها 1 طن. يجب أن تكون مناطق تخزين الحاويات باردة، وجيدة التهوية ومحمية من تأثير

الأبخرة الأكّالة والرطوبة المستمرة. يتم سحب الغاز بواسطة وصلة صمام موجودة عند قمة الأسطوانة. يتم تحويل الكلور السائل في الأسطوانة إلى بخار ليسمح بسحبٍ مستمرٍ لغاز الكلور. يجب أن يكون التصميم والتشغيل مصممين لجعل الأخطار في حدّها الأدنى في أثناء توصيل الحاويات وطرحها وفصلها. وتوفر الرائحة المميزة للكلور إنذاراً بأيّ تسرب. ونظراً إلى تفاعل الكلور مع الأمونيا مشكلاً أبخرةً بيضاً كثيفة، فإنه يُمكن كشف التسرب بسهولة بوضع قطعة قماش تنظيفٍ مشبعة بمياه أمونيا قوية قرب المنطقة المشكوك بها. وهيبوكلوريت الكالسيوم ثابت نسبياً تحت الظروف الطبيعية، لكن من المحتمل حدوث تفاعلات مع موادٍ عضويّة. ويفضّل أن يتم الحفظ في مواقع منفصلة عن باقي الكيمياويات والمواد الأخرى.

إن الوحدة الأكثر أساسية في رافد غاز الكلور هي الفوهات المختلفة المُقحمة في خط الرافد والتي تقوم بضبط معدّل الانسياب الخارج من الأسطوانة. وعملها يشبه إلى حد بعيد عمل صنبور الماء مع وجود ضغط ثابت خلفه يؤمن تجهيزاً مستمراً. ويمكن التحكّم بكمية الماء المصرّفة بفتح الصنبور، وإذا لم يتغير ضغط التجهيز فسيبقى معدّل الانسياب ثابتاً تحت أيّ وضعية. يتألف الصنبور الموضّح بالتفصيل في الشكل 7-18 من برغي مجوف ينزلق ضمن حلقة تطوّقه بإحكام. يتم ضبط معدل الانسياب عبر تغيير مقدار الفتحة التي لها شكل V. ولكن ونظراً إلى تغيّر ضغط أسطوانة الكلور بتغيّر درجة الحرارة، فإن التصريف عبر الصمام الخانق لا يبقى ثابتاً بدون ضبط وضعية الصمام بشكل متكرّر. إضافة إلى ذلك فإن الظروف السائدة على طرف المخرج قد تختلف نتيجة تغيرات الضغط عند نقطة الدخول. ولضمان عدم تأثير الشروط المتغيّرة هذه في ضبط الصمام، يتم إقحام صمام تنظيم ضغط بين الأسطوانة والصنبور، مع وجود صمام تعديل إخلاء الهواء على جانب طرح التصريف. ويتم الإبقاء على صمام تخفيف الضغط مغلقاً عبر إخلاء الهواء. فإن فُقد إخلاء الهواء، ومرّ الكلور الموجود تحت الضغط عبر صمام المدخل، فإن صمام التخفيف سيُفتح وسيُصرَف غاز الكلور إلى خارج المبنى.



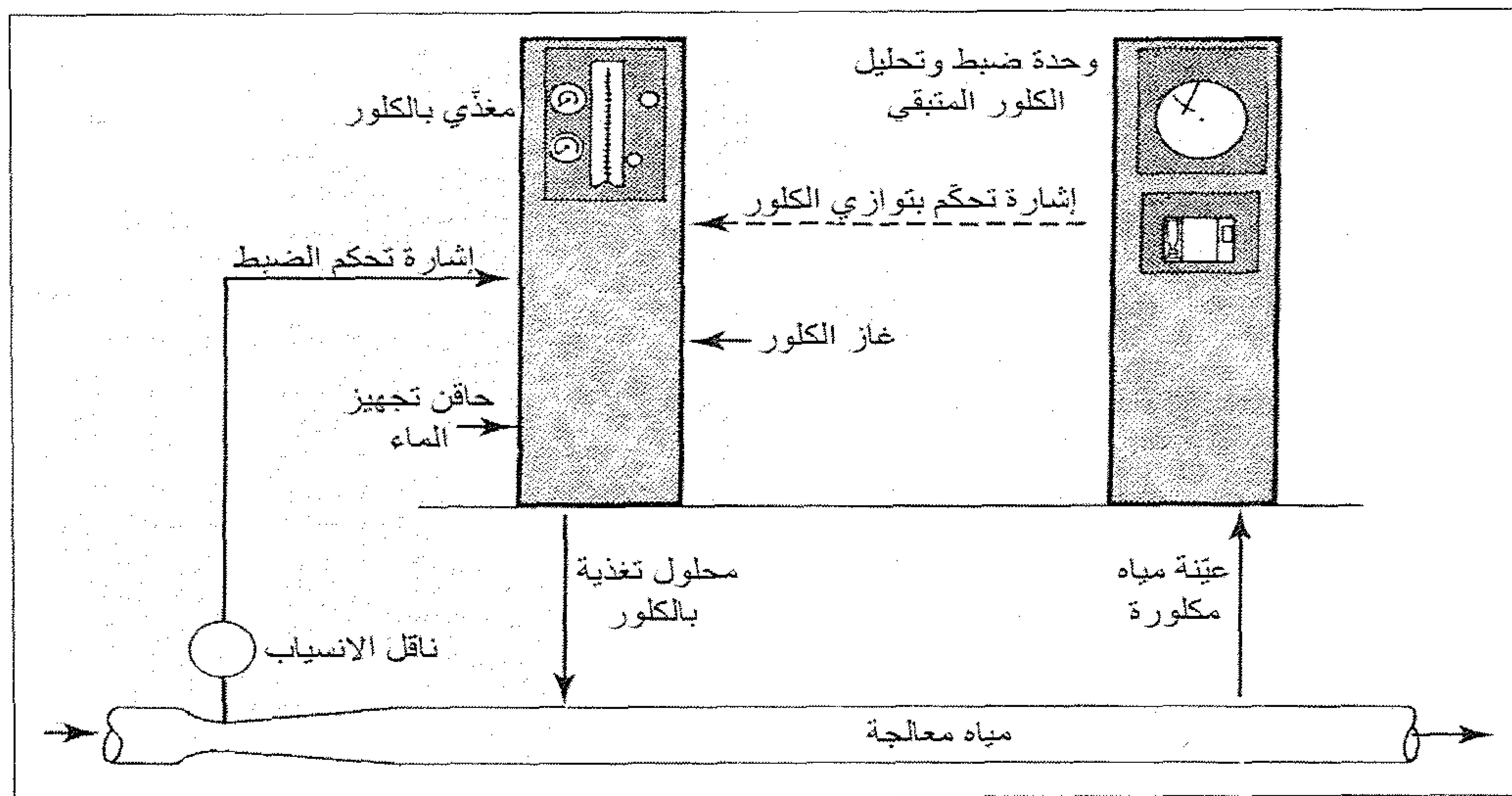
شكل 7-18: مخطط سير العمليات لمكلور نموذجي للتغذية بمحلول، مع تفاصيل الفوهات المتغيرة ذات شكل V (موافقة من: .Wallace & Tiernan Inc)

تقع عدادات الانسياب البصرية (Visible Flow Meter) (عداد الدوران)، (Rotameter)، ومقاييس الضغط (Pressure Gauges)، ومفتاح ضبط معدّل التغذية (Feeder-Rate Adjusting Knob)، على الواجهة الأمامية لحجرة المكلور (Chlorinator).

إن للتغذية المباشرة بغاز الكلور في أنبوب أو في قناة، قيودٌ محدّدة، فمثلاً ستحدث مشكلة أمان معتبرة إن كان من المتوجب مدّ شبكة أنابيب الكلور عبر كامل محطة المعالجة. وللتغلب على المشاكل المتعلقة بنقل غاز الكلور وإدخاله بشكل مباشر، يتم استعمال حاقن يسمح بالتغذية بالكلور كمحلول. تتسبب المياه المنسابة عبر الحاقن بإفراغ الهواء، وبالتالي سحب غاز الكلور من المغذي ومزجه مع التجهيز بالماء. ويكون هذا المحلول المركّز ثابتاً نسبياً ويمكن أن يمرّ بالأنابيب بأمان إلى نقاط

مختلفة في محطة المعالجة لتصريفه في قناة مفتوحة، أو في أنابيب مغلقة أو في نهاية سحب لمضخة ما.

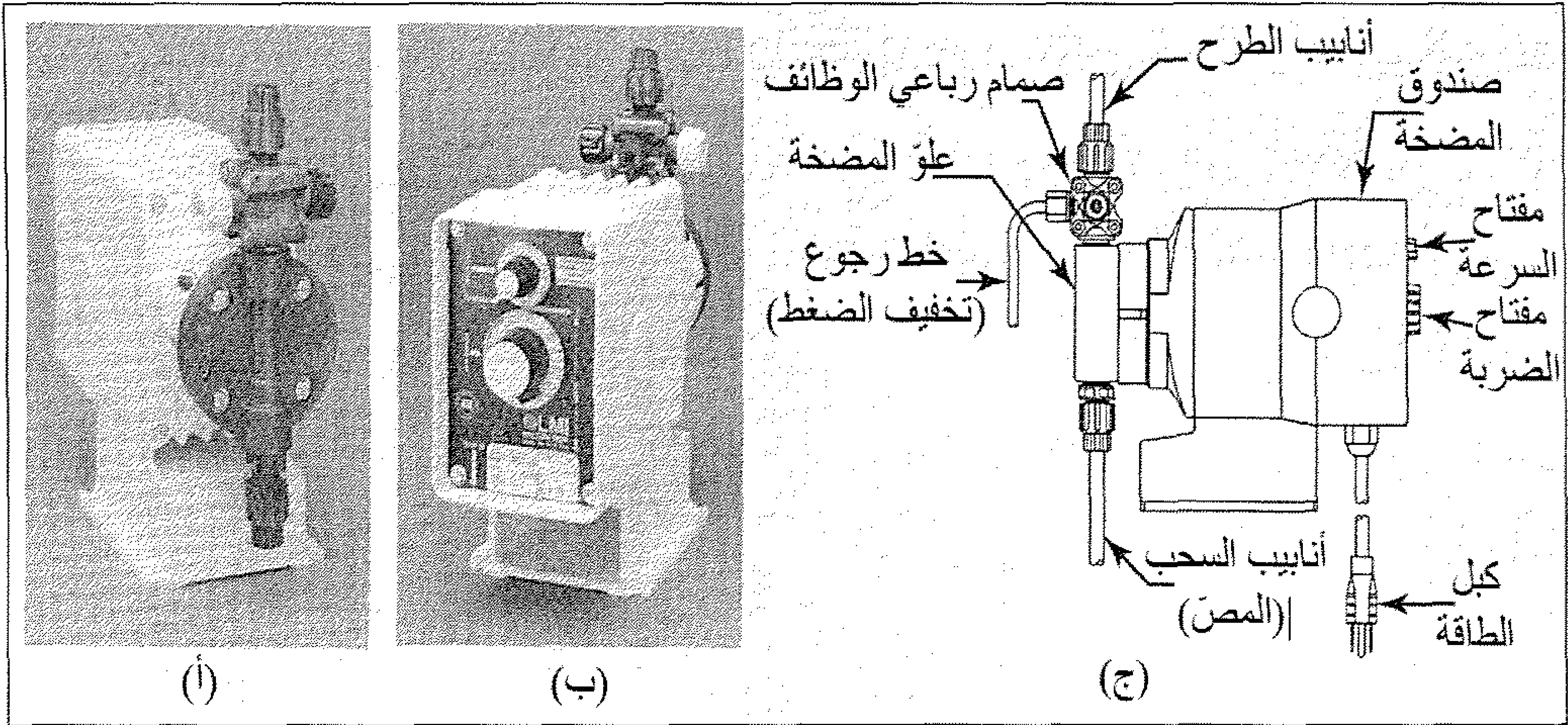
يمكن ضبط مغذيات الكلور يدوياً أو أوتوماتيكياً اعتماداً إمّا على معدّل تغذية أو على مقدار الكلور المتبقي أو على كليهما. يؤمّن الضبط اليدوي تثبيت معدّل تغذية مستمر. وهذا النمط من المنظمّات مرضٍ فقط إن كان الاحتياج للكلور وانسيابه ثابتين بشكلٍ مقبول، فإن كان هناك شخص يقوم بالتعديل الضروري. تقوم أداة تحكّم [أوتوماتيكيّة] تناسبيةٍ بتعديل مُعدّل التغذية لتقديم جرعة ثابتة مقرّرة مسبقاً لكل معدّلات الانسياب. ويتم ذلك بقياس معدّل الانسياب الرئيس واستخدام مرسل يقوم ببث إشارة إلى مغذي الكلور. تَستخدم وحدة ضبط أوتوماتيكيّة متبقي الكلور، ومحللاً للعينات باتجاه الانسياب وذلك اعتباراً من نقطة الكلور إلى النظام بهدف ضبط المكلور. يحافظ كلّ من الانسياب الأوتوماتيكي المتحد وضبط الكلور المتبقي (شكل 7-19) على إبقاء الكلور المتبقي في الماء مستقلاً عن تغيرات الاحتياج والانسياب. والمغذي حساس للإشارات التي ترده من مرسلِ عدّادِ انسياب ومن محلّل الكلور المتبقي. يبلغ النظام أقصى فاعليته عندما تتم معايرة الانسياب عبر المنظّم الأولي للتغذية بالكلور مع مراقبة متبقي الكلور لتخفيض الجرعة المأخوذة منه.



شكل 7-19: انسياب أوتوماتيكي وضبط متبقي الكلور لمغذي بالكلور

وتستخدم مضخّات حاجزية ذات إزاحة إيجابية لقياس محاليل الهيبوكلوريت (تستخدم هذه المضخّات أيضاً لقياس حمض الفلوروسيليك في عملية الفلورة). ويظهر الشكل 7-20 الجانبين الأمامي والخلفي لمضخة حاجزية كهربائيّة ومخططاً يبيّن مكوّناتها الرئيسة. تتوفر المضخّات من هذا النوع بسعات تتراوح بين gpd/ ft 0 و25، وبضغوط حقنٍ أعظميةٍ بين Psi 20 و300، وتُشغّل إما بتيارٍ متناوب ذي فولتية 110 أو 200 فولت، أو بتيار مستمرّ ذي فولتية 12 فولت، ومزودة بأغطية مصنوعة من مواد مختلفة مقاومة للمواد الكيميائيّة. تؤمّن صمامات ذوات كرات، وقواعد تثبيت حلقيّة في كلّ من مدخل السحب ومخرج طرح العلوّ، سداً محكماً عندما يتم إغلاقها مع إزاحة إيجابية بدون انسياب مرتد. والصمام رباعي الوظائف مع خطّ رجوع إلى خزان المواد الكيميائيّة، هو بالدرجة الأولى لتوفير الأمان. ويقوم صمام قطع داخلي بمنع الانسياب المرتد إلى قمة المضخّة. فإذا انسدت أنابيب التصريف، فإن انسياباً من المضخة سيرجع إلى حاوية التجهيز بالمواد الكيميائيّة، وبضغطة زر موجود على جانب الصمام يمكن تشغيل المضخّة، وذلك عبر إخراج الهواء من قمة المضخة عبر أنبوب تخفيف الضغط، وبالتالي ملء القمة بالمادة الكيميائية المغذية. ويتم ضبط معدّل التغذية بالمادة الكيميائية من خلال سرعة دوران القرص الموجود أعلى المضخّة، وطول ضربة أسطوانة محرّك المضخة الضاغطة على الحاجز.

وفي ما يتعلق بالوحدة الظاهرة في الشكل 7-20 فإنه يمكن التحكّم بمعدل التغذية يدوياً. بينما صُمّمت بعض النماذج الأخرى للقياس والتعديل بشكلٍ متناسب مع الانسياب، بحيث يُوازَن حقن المادةِ الكيميائية مع تغيرات الانسياب للمحافظة على جرعةٍ ثابتة، أو بواسطة التحكّم باستجابة الوحدة، حيث يوازن حقن المادة الكيميائية بالاستجابة مع الإشارة الكهربائية الميليمترية الداخلة إلى المضخّة.



شكل 7-20: مضخة حاجزية إلكترونية ذات إزاحة جانبية لقياس وضبط المواد الكيميائية السائلة مثل هيبوكلورايت الصوديوم وحمض الفلوروسيليك. (أ) منظر أمامي يظهر الجزء النهائي المفرغ. (ب) منظر خلفي يظهر مفتاح معدّل السرعة في القمة ومفتاح طول الضرب في الوسط. (ج) مخطط المكوّنات. (موافقة من: LMI, Milton Roy)

ثاني أكسيد الكلور

يستخدم ثاني أكسيد الكلور (ClO_2) للتعقيم أو لضبط الطعم والرائحة، ويتم إنتاجه في محطات معالجة الماء عبر مزج محاليل كلوريت صوديوم مع الكلور في تناسب مُتحكّم به، كما هو موضّح في المعادلة 7-18.



$$NaClO_2 + Cl_2 \longrightarrow 2ClO_2 + 2NaCl \qquad \textbf{(18-7)}$$

إن استخدام ثاني أكسيد الكلور في الولايات المتحدة محدود. وأول مساوئه وأكبرها هي إمكانية تشكّل الكلورات ومتبقيات الكلوريت وهي مركبات كيميائية سامة. والحدود الموصى بها لهذه المواد في مياه الشرب هي 1 mg/l. وثاني مساوئه هي الكلفة العالية للصوديوم كلورايت، ما يجعل ثاني أكسيد الكلور أغلى من الكلورة بحدّ ذاتها. إن مزايا ثاني أكسيد الكلور هي فعله المعقّم القوّي في مجال pH واسع، وتشكّل متبقي كلور يُحَافَظ عليه في المياه المعالجة الداخلة إلى نظام التوزيع، ومعالجة المياه السطحيّة، وعدم تفاعلها لا مع الأمونيا نتروجين لتشكيل كلورأمين، ولا مع الأحماض العضوية لتشكيل ميثان ثلاثي الهيدروجين.

مثال 7-11

يبلغ مقدار الكلور المُستخدم لمعالجة 5.0 mil gpd، 17 lb/day. ويبلغ مقدار الكلور المتبقي بعد 10 min من التّماس، 0.20 mg/l، احسب الجرعة مقدرة بـــ mg/l واحتياج الماء للكلور.

الحل

$$\text{الجرعة} = \frac{17\ \text{lb/day}}{5.0\ \text{mil gal/day}} \times \frac{\text{mg/l}}{8.34\ \text{lb/ mil gal}} = 0.41\ \text{mg/l}$$

الاحتياج للكلور =0.41 − 0.20 =0.21 mg/l

مثال 7-12

تم تعقيم أنبوب رئيس جديد باستخدام 50.0 mg/l جرعة كلور وذلك عبر محلول 2% من محلول الهيبوكلوريت. (أ) كم كغ يبلغ وزن مسحوق الهيبوكلوريت الجاف الحاوي على 70% من الكلور المتاح، يجب إذابتها في 100 لتر من الماء لإعداد محلول 2% (mg/l20000)؟ (ب) كم يبلغ معدّل تغذية هذا المحلول إلى الماء الداخل إلى الأنبوب الرئيس لتأمين تركيز قدره 50 mg/l؟ إذا استخدم 34000 لتر من الماء لملء الأنبوب الرئيس بمعدلٍ 50 mg/l، كم لتر من محلول الهيبوكلوريت تمّ استخدامه؟

الحل

(أ) عدد kg مسحوق الهيبوكلوريت الجاف لإعداد محلول 2%:

$$\frac{100\,\text{l} \times 1.0\ \text{kg} \times 0.02}{0.70} = 2.86\ \text{kg/l}$$

(ب) معدّل تغذية المحلول لتأمين تركيز قدره 50 mg/l:

$$= \frac{50\ \text{mg/l}}{20000\ \text{mg/l}}$$

$$= \frac{\text{حجم واحد لمحلول 2\%}}{\text{400 مثل لحجم المحلول}}$$

(ج)

$$\text{المحلول المُستخدم} = 85\ \text{l}\ \frac{50\ \text{mg/l}}{20000\ \text{mg/l}} = 34000\ \text{l} \times$$

13-7 النواتج الجانبية للتعقيم

تنتج كلورة الماء الحاوية على مواد عضوية دبالية من مصادر طبيعية، والتي تكون عادةً مياهاً سطحية تحوي نباتات متحللة من الجريان على سطح الأرض، مواد جانية مكلوَرة سامة. أنواعها الرئيسة هي مركبات محبّة للمياه يُشار إليها بمركبات ميثان ثلاثي الهالوجين (THMS)، مع الكلوروفورم ($CHCl_3$) والبروم ميثان ثنائي الكلور ($CHBrCl_2$) كأكثر الأشكال الكيميائية شيوعاً، وأحماض خلات الهالوجين (HAAS). إضافة إلى ذلك يتم إنتاج طيف من المركّبات المحبّة للماء غير الطيّارة، بما في ذلك مركبات مكلورة وغير مكلورة أريجيّة ودهنيّة. ويشتبه في أن تكون مركبات ميثان ثلاثي الهالوجين (THMS) وخلات الهالوجين (HAAS) مسرطنة، وتبلغ مستويات التلوّث القصوى لمياه الشرب بها 0.080 mg/l و0.060 على التوالي.

ضبط النواتج الجانبية للتعقيم

تسهم كلورة نقطة التغيّر كخطوة أساسية في معالجة المياه السطحية للتعقيم ولضبط الطعم والرائحة في تشكّل ميثان ثلاثي الهالوجين (THMS) وخلات الهالوجين (HAAS)، كما إن الإبقاء على متبقي كلور يزيد من تراكيز النواتج الجانبية مع الزمن. يوصى بالتعديلات الآتية على الطرق الموجودة لمعالجة المياه كطرق تخفيض سويات الملوّثات في المياه المعالجة: تطبيق الكلور بعد التخثير الكيميائي والترسيب، وتحسين عمليات الترسيب حيث تكون المياه الخام غنيةً بأسلاف (THMS) و(HAAS)، مثل أن يكون تركيزها أكثر بـــ 2.0 mg/l من قيمة الكربون العضوي الإجمالي، وإدخال مسحوق كربون منشّط لامتصاص النواتج الجانبية ومواد الأسلاف.

تعتبر إضافة الكلور في مراحل متأخرة في معالجة المياه السطحية أسهل طريقة لخفض تشكّل المواد المذكورة. ويمكن إضافة الكلور بعد التخثير والترسيب

أو بعد الترشيح، إن لم يكن هناك ضرورة لضبط مسبق لأعداد المكروبات. إن مزايا الكلورة المتأخرة هي تخفيف الجرعة المطلوبة وإزالة المواد الدباليّة قبل إضافة الكلور. فإن كان الضبط المذكور ضرورياً، فإنه يمكن إضافة مسحوق الكربون المنشّط في أثناء مرحلة المعالجة المبكرة لامتزاز المواد الدبالية، ويمكن إجراء تخثير محسن لتوفير إزالة أفضل للمادة العضوية قبل الترشيح.

ومن المعقمات البديلة التي تخفف تشكّل النواتج الجانبية، الكلورأمين، وثاني أكسيد الكلور والأوزون. إن استخدام الكلورأمين، والذي يعتبر معقماً ضعيفاً تجاه البكتيريا، وأشدّ ضعفاً في تعطيل الفيروسات، يزيد من خطورة المُمرِضات في معالجة مياه الشرب. وبالرغم من ذلك، فإنه يمكن استخدامه كمعقّم ثانويّ لإيجاد متبقّي كلور متحد في المياه الداخلة إلى نظام التوزيع. ولثاني أكسيد الكلور تطبيقات محدّدة كمعقمٍ للمياه، إضافة إلى استخدامه لضبط الطعم والرائحة. أما مزاياه فهي إنتاج متبقي كلور مقاوم بدون أن يتشكّل كلورأمين. بينما تتمثّل سيئاته في التأثير المحتمل للنواتج الناتجة من تفاعل ثاني أكسيد الكلور مع المواد العضويّة، في الصحة. ويعتبر الأوزون معقماً فعّالاً يشكّل منتجات غير معروفة، يمكن لتأثيرها أن يكون ضاراً بصحّة الإنسان. ومساوئ الأوزون كلفته العالية وعدم وجود متبقيات له، فإن استخدِم الأوزون كمعقم أولي، فيمكن عندها إضافة الكلور كمعقّم ثانويٍّ لتأمين وجود متبقي كلور واق.

إنه لمن الصعب إزالة النواتج الجانبية من المياه، ويمكن أن تخفف التهوية من محتواها العام، غير إن لها مشاكل عمليّة مرتبطة بها هي تنقية الهواء منعاً لتلوّث المياه، وتطويق منطقة التهوية لتخفيف التبريد الممكن حدوثه. وتتباين فعالية امتزاز مسحوق الكربون المنشّط للنواتج الجانبية. فمنتجات البرومين THMS يتم امتزازها بسهولة أكبر من الكلوروفورم، والذي يعتبر أكثر مركبات THMS شيوعاً. إن المقاربة المفضلة لضبط النواتج الجانبية هي منع تشكلها، لا إزالتها بعد تشكلها.

قاعدة التعقيم/ النواتج الجانبية للتعقيم

لقد قادت المتطلبات المتعارضة لتأمين تعقيمٍ فاعل ولتخفيف التأثيرات المعاكسة للنواتج الجانبية على الصحة، إلى المرحلة 1 لقاعدة التعقيم/ النواتج الجانبية للتعقيم (D/DBP). ووفق قاعدة EPA، فإنه ينبغي لأنظمة المياه العامة أن تحد من الميثان ثلاثي الهالوجين (THMS) ومن خمسة أحماض خلات الهالوجين (HAAS)، وأن تحتفظ بكلور متبق في نظام التوزيع. كما تحدّد القاعدة المستويات القصوى لملوّث من الــ (THMS) و(HAAS) (محدّدة في الجدول 5-1)، كما تحدّد تراكيز التعقيم القصوى المسموح بها للمتبقيات كالتالي: الكلور 4.0l mg/l، الكلورأمين 4.0l mg/l، ثاني أكسيد الكلور 0.8 mg/l. ومن المتوقع أن تُنقح وتُوسّع هذه القاعدة في المستقبل لتصبح بالتالي المرحلة 2 لقاعدة التعقيم/ النواتج الجانبية للتعقيم.

ويجب على محطات معالجة المياه التي تُجري تخثّراً كيميائياً وترشيحاً وفق المرحلة 1 لقاعدة التعقيم/ النواتج الجانبية للتعقيم، أن توفر أيضاً تخفيفات موصىً بها للـــ (TOC)، وذلك اعتماداً على نوعية مياه المصدر. إن هذا القيد على الملوّث هو تقنية معالجةٍ تتطلّب تعديلاً أو تحسيناً لمعالجة المياه بهدف تخفيف تركيز الـــ (TOC) في المياه المُعالَجَة، والذي يحتمل قيامه بتخفيف الأسلاف في أثناء تشكّل النواتج الجانبية للتعقيم. وبالرغم من أن هذه القاعدة ليس لها استثناء، إلا أنه توجد معايير التزام وخضوع هي الآتية:

- أن تكون (TOC) مياه المصدر للنظام أقلّ من 2.0 mg/l.
- أن تكون (TOC) لمياه النظام المعالجة أقلّ من 2.0 mg/l.
- أن تكون (TOC) لمياه المصدر للنظام أقلّ من 4.0 mg/l، و أن تكون قلوية مياه المصدر أكثر من 60 mg/l (بصورة CaCO3)، ومستويات (النواتج الجانبية للتعقيم) (DBP) للنظام من أجل الميثان ثلاثي الهالوجين الكلّي (TTHM) ومن أجل أحماض خلات الهالوجين الخمسة (HAAS) أقلّ من 30 μg/L و 40 μg/L على التوالي.

- يستخدم النظام الكلور فقط كمعقم، بينما يُستخدم (TTHM) و(HAAS) كنتاج جانبيٍّ معقم (DBP) وذلك بمستويات أقلّ من 30 μg/L و40 μg/L على التوالي.
- إن امتزاز الأشعة فوق البنفسجية (Specific Ultraviolet Absorbance, SUVA) المحدّد لمياه المصدر للنظام وذلك قبل أيّ معالجة أقلّ من L/mg-m 2.0.
- إن امتزاز الأشعة فوق البنفسجيةSUVA المعالج العائد للنظام أقلّ من mg-L/m 2.0.

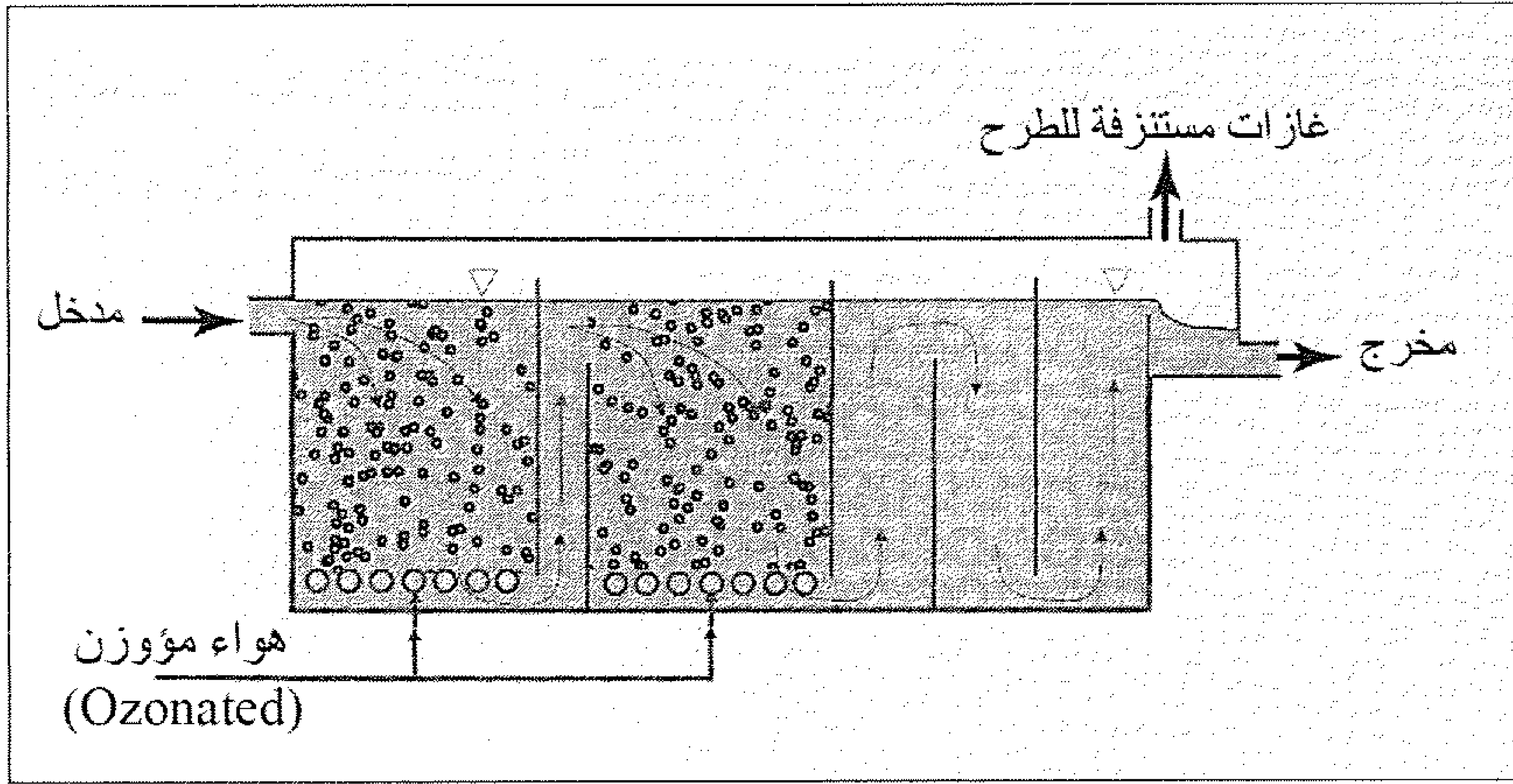
إن الكربون العضوي الكلي (Total Organic Carbon, TOC) هو الكربون المكافئ المرتبط ضمن مجموعة كبيرة متنوعة من المركَّبات الكيميائية الموجودة في الجريان السطحي الحاوي على نباتات متحلّلة، ويسهم به أيضاً استعمال مياه الصرف المحلي والصناعيّ، ونواتج جانبية للتعقيم بالكلورة، إضافة إلى نواتج حيويّة مجهرية ناتجة من معالجة مياه الصرف. ويتم النظر في استخدام (TOC) كبديلٍ (متحوّل مركب) في تحديد نوعية مياه الشرب، لوضع مقياس للأمان حتى ولو لم يكن ممكناً تحديد نوع الملوّثات. إن إزالة (TOC) من التجهيز بمياه الشرب، يخفّف تركيز المركَّبات المحتمل ضررها بالرغم من عدم تحديدها.

14-7 الأوزون

الأوزون كغاز مؤكسد قويٍّ، هو في الواقع معقّم فاعل ومؤكسد للطعم والرائحة. إن تفاعل الأوزون سريع في تعطيل العضويات المجهرية وفي أكسدة الحديد والمنغنيز والكبريت والنتريت وأبطأ في أكسدة المواد العضوية كالمبيدات الحشرية والمواد الكيميائية العضوية الطيّارة ومركبات عضوية أخرى. وبينما يتفاعل الكلور مع الماء لإنتاج أنواع معقّمة، يتفكك الأوزون في الماء لينتج أكسجيناً وجذور هيدروكسيل حرة. تحدث تفاعلات الأكسدة السريعة في أزمنة تماس قصيرة

بالنسبة إلى الأكسدة بالكلور. ونظراً إلى أن الأوزون لا ينتج متبقيات معقّمة، يجب إضافة الكلور إلى مياه الشرب المعالجة لإيجاد متبق واقياً ونمواً للبكتيريا يتحكّم به في شبكة أنابيب التوزيع. وبسبب التحلل السريع لغاز الأوزون المختزن، ينبغي توليده في موقع محطة المعالجة.

يتكون نظام الأوزنة من (1) تحضير للهواء أو تغذية بالأكسجين، (2) تغذية بالطاقة الكهربائية، (3) توليد أوزون، (4) تماس بالأوزون، و(5) تدمير الغاز المُستنزَف الذي كان بتماس الأوزون. يُجفّف الهواء المحيط لمنع تعفن أنابيب إنتاج الأوزون ولتخفيف التآكل. ويَستخدِم النظام الشائع لتحقيق ذلك، مجففاتِ تنشيف بالترافق مع انضغاط وتنشيف بالتبريد. ويتم التحكّم بمعدل إنتاج الأوزون بتغيير الفولطية أو تردد الإمداد الكهربائي الوارد إلى مولد الأوزون. ويستعمل المولّد المُستخدَم في معالجة المياه خليةَ طرح عند القمة مكوّنةً من مسريين يفصلهما فجوة طرح مواد ثنائية الكهربية يحافظ على وجود فرق كمون تيار عبرها. وعندما ينساب الهواء أو الأكسجين الجاف بين المسريين، يتم إنتاج الأوزون. وباستخدام الهواء الجاف، يكون تركيز الأوزون 1% إلى 3.5% وزناً، وهو تركيز مناسب لإذابة أوزون كاف للوصول إلى زمن تماس التركيز الضروري في معالجة الماء. وباستخدام أكسجين نقي، يتضاعف تقريباً تركيز الأوزون. وكما هو موضّح في الشكل 7-21، فإن للمنظم النموذجيّ للأوزون حجرتين على التسلسل مع مشتّتات مساميّة لإدخال الهواء المؤوزن من قاعدة أعمدة الماء. ينساب الماء في كلّ حجرة إلى الأسفل باتجاه معاكس لفقاعات الهواء المؤوزن الصغيرة الصاعدة للأعلى. وباستخدام خزان مغطى، فإن الضغط الجزيئي للأوزون على سطح الماء سيزداد ويجمع الأوزون لطرحه. وينبغي تحطيم الأوزون الموجود في الغازات المستنزفة، أو إعاده عبر تدويره، قبل طرحه في الهواء، نظراً إلى أن تركيز الأوزون في الغازات المستنزفة يتجاوز معايير نوعية الهواء. وتحطيم الأوزون في الغازات المستنزفة هو عموماً الخيار المنتقى نظراً إلى أنه عادةً أرخص من إعادة تدوير الغازات المستنزفة عبر نظام تحضير الهواء.



شكل 7-21: منظم أوزون ذو حجرتين عل التسلسل، يدخل الهواء المؤوزن من أسفل الحجرتين ويرتفع عبر الماء المنساب نحو الأسفل تليها ثلاث حجيرات لتوفير زمن تماس إضافي

نادراً ما يُستخدم الأوزون بمفرده للتعقيم نظراً إلى كلفته العالية مقارنة بالكلور من ناحية ولغياب متبق معقّم من ناحية أخرى. ويتم استخدامه عادةً بشكل مركّب للتعقيم، ولضبط الطعم والرائحة، ولأكسدة المواد العضوية الدبالية والتي تتفاعل مع الكلور لتشكّل ميثان ثلاثي الهالوجين وأحماض خلات الهالوجين، ولخلخلة الغرويات للوصول إلى تخثير مُحسّن باستخدام جرعات مخففة من المخثّر. والناتج الجانبي الوحيد الذي تمّ تحديده في عملية الأوزنة في معالجة مياه الشرب هو مستويات أثر من الألدهيد. وينبع الاهتمام المتزايد باستخدام الأوزون من غياب النواتج الجانبية التي لها علاقة بالصحة، وبقدرته على تحطيم مواد الأثر العضوية السامّة.

7-15 تعقيم مياه الشرب

لقد أرسى القانون المؤقّت للمعالجة المُحسّنة للمياه السطحيّة[3] (Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule, IESWTR) الصادر عن EPA أهدافاً قصوى تتمثّل بمستويات صفريّة لملوّثات الجيارديا لامبيليا والكريبتوسبوروديوم، والفيروسات المعويّة والليجونيللا في تجهيزات المياه العامة. ونظراً إلى أنه لا يمكن استخدام الفحوص الروتينيّة لتقدير وجود هذه العضويات المجهرية من عدمه، فلقد

أُرسيت تقنيات معالجة لضمان إزالتها وتعطيلها خلال عمليات معالجة المياه. فضلاً عن ذلك ونظراً إلى كون كييسات اللامبيليا وبيوض الكريبتوسبوروديوم والفيروسات تمثّل أكثر المُمرضات ثباتاً واستمراراً، فمعالجة الماء بقصد إزالتها منها، تضمن غياب كافة المُمرضات الأخرى. وبالرغم من أن بعض التجهيزات الأخرى بالماء قد لا تحتوي على أعداد معتبرة من هذه المُمرضات، فإن إثبات غيابها غير ممكن ولا يمكن أن يُستخدم بديلاً لتطبيق تقنيات المعالجة المحدّدة. إن الفئات الثلاثة للتجهيز بالماء هي: (1) مياه سطحية مكشوفة للغلاف الجوي وخاضعة للجريان السطحي، (2) مياه جوفية مكشوفة للغلاف تحت تأثير مباشر للمياه السطحية (وهذه المياه تحوي طحالب، وحشرات، أو أيّ عضويات مجهريّة أو أنها تعاني انزياحات معتبرة وسريعة نسبياً في خصائص المياه)، و(3) مياه جوفيّة.

يتطلب تعقيم المياه السطحية تخثيراً وترشيحاً بواسطة أوساط حُبيبية يليها كلورة. تضمّ مجموعات المُمرضات المرتبطة بالمياه الملوّثة، البكتيريا، الفيروسات، والابتدائيات (فقرة 3-5). وبالرغم من أن الكلورة فعالة في قتل البكتيريا المعوية وتعطيل الفيروسات، وهذه المُمرضات قد تكون محميّة في المواد الصلبة الغروية والمعلّقة، إن لم تُرشّح المياه لإزالة العكورة. وكييسات الابتدائيات مقاومة للتعقيم بالكلور، ويتطلب التخلص منها تخثيراً فعّالاً يعقبه ترشيح. لقد حدث انتشار للجيارديا والكريبتوسبوروديوم في تجمّعات مجهّزة بمياه سطحية خُثّرت بشكل غير صحيح قبل الترشيح أو أنها لم تُرشح بالأصل، بالرغم من إضافة الكلور للتعقيم. وفي المناطق الجبلية يلعب السمور المصاب دور الحامل المضاعف للامبيليا مساهماً في نشر الكييسات في الجداول الجبليّة الصافيّة والتي قد تُستخدم كمصادرٍ للمياه. ولقد حدث انتشار للكريبتوسبوروديوم في التجهيز بالمياه المكلورة نتيجة كون الترشيح غير مناسب. ويمكن للمياه السطحية أن تتلوّث ببيوض الكريبتوسبوروديوم المتأتية من براز الأبقار والأغنام وكذلك من مياه الصرف المحلي. لقد أكد انتشار أمراض الابتدائيات المنقولة بالماء على أهميّة التخثير الكيميائي الصحيح لإزالة فعّالة للعكورة في أثناء ترشيح المياه السطحيّة. يمكن

تعقيم المياه الجوفية التي ليست واقعة تحت تأثير مباشر بالمياه السطحية من آبار المياه المُعدّة بشكل سليم، بالكلورة إن كان ذلك ضرورياً. يحدث تعقيم طبيعيٌّ بالترشيح عبر الترب السطحية والحوامل المائيّة تحت السطحية وذلك بإجهاد وإمساك العضويات المجهرية وبالتعطيل الطبيعي للمُمرضات في بيئة تحت سطحية معادية. تُرشّح وتُبعَد بيوض الكريبتوسبوروديوم وكييسات الجيارديا بسبب حجمها الكبير، وعلى النقيض فإن الفيروسات المعويّة مثار قلق بسبب حجمها تحت المجهري. والقليل من البيانات من يؤكّد أن وجوداً كبيراً للفيروسات في المياه الجوفية غير متأتٍ في الواقع عن تأثير مباشر لمياه سطحية ملوّثة. وعندما يحدث انتشار لجائحة منقولة بالماء في تجمّعات مجهّزة بمياه جوفيّة، فإن أغلبها ناتج من انسياب مرتدٍّ لمياه الصرف إلى داخل شبكة أنابيب التوزيع، أو تلوّث البئر نتيجة إعداده السيّئ وتجاوره مع مصدر تلوّث بالبراز. إن برنامجاً لحماية رأس البئر يحدّد منطقة رشح آمنة، هام جداً لتحديد مصادر محتملة لتلوّث المياه الجوفيّة.

مفهوم نواتج $C . t$

إن تعطيل أنواع محدّدة من العضويات المجهرية تابع لتركيز المواد الكيميائية المعقم وزمن التّماس، وللمتحوّلين الأهمية نفسها في ذلك. وهناك متحوّلات أخرى وهي نمط المعقّم، ودرجة الحرارة، وpH، وقابلية الحياة والنمو للعضويات المجهرية، والعكورة. يعبّر عن المركب $C . t$ بوحدات (mg/l . min).

ولكل معقّم (كلور، ثاني أكسيد الكلور، كلور أمين، والأوزون) خصائص تعطي قيم $C . t$ مختلفة، للمتعضيّ المجهريّ نفسه وتحت الظروف نفسها. تتأثر كلُّ المعقّمات بدرجة حرارة الماء، فزيادة درجة الحرارة بمقدار $10^{\circ}C$ تتسبب بزيادة تعطيل العضويات المجهرية بمثلين إلى ثلاثة أمثال. ومن بين مختلف معقمات الكلور، فإن الكلور الحر يتأثر بالـــ pH بسبب تفكك HOCl إلى OCl. يوجد حمض

الهيدروكلوروز، وهو الشكل الأقوى للمعقمات بنسبة 85% أو أكثر وتحت قيم pH أقلّ من 7. ويوجد أيون الهيبوكلوريت، وهو الشكل الأضعف للمعقمات بنسبة 85% وتحت قيم pH أكبر من 8.5. إن معدّل تعطيل الكلورأمين، وثاني أكسيد الكلور والأوزون مستقل نسبياً عن الـــ pH والذي يتراوح بين 6 و9. إن الترتيب الحيويّ لتزايد المقاومة تجاه التعقيم هو كالتالي: البكتيريا، والفيروسات، وكييسات الابتدائيات، وبيوض الديدان. وكل مجموعة ذات تنوّع كبير في الحجم ودورة الحياة، وخصائص حيويّة أخرى، بما في ذلك مقاومتها للتعقيم الكيميائي، بل حتى ضمن النوع الواحد، تتباين مقاومة الأنواع التي زُرعت في المخبر وبين تلك التي توجد طبيعياً في البيئة. تؤثّر الوقاية بواسطة المادة العضوية في معدّل التعطيل، وكل منها يزيد الـــ $C . t$. ونتيجة لذلك فإن إزالة العكورة بالتخثير والترشيح أمر أساسيّ للتوصّل إلى تأثير تعقيم نموذجي.

يبين الجدول 7-3 قيم $C . t$ لتعطيل 99.9% (3.0 log) لكييسات اللامبيليا بواسطة الكلور الحرّ لدى درجات حرارة وقيم pH مختلفة. وتستند هذه البيانات إلى دراسات عدوى الحيوان[4]. لقد تمت المحافظة على معزولات من ج. لامبيليا من أشخاص مصابين وذلك بتمريرها عبر اليربوع المنغولي (Mongolian Gerbils). عرضت من ثم كييسات نظيفة من هذه الحيوانات لمتبقيات كلور حر متعدّدة لدى ظروف درجات حرارة وpH مختلفة وذلك من أجل قيم $C . t$ محدّدة. ولدى نهاية زمن تماس محدّد، تمّ تركيز معلّق الكييسات وغسله. وتم إدخال هذه الكييسات إلى عدّة يرابيع. ثم فُحِصت بعد سبعة أيام لتحديد عدد اليرابيع المصابة بالجياردیازيس. وبعد عدّة اختبارات حُلّلت بيانات العدوى إحصائياً لمقارنة قيم $C . t$ بمعدّلات محدّدة للتعطيل لظروف درجات حرارة وpH مختلفة. فمثلاً إن قيم $C . t$ الموجودة في

الجدول 7-37 تعطّل 99.9% (3.0 log) من كييسات تاركة بالتالي 0.1% حية. (إن كلّ تخفيف وحدة log يكافئ 90% تخفيف).

يمكن حساب قيم $C \cdot t$ لمعدلات تعطيل مختلفة بافتراض حركية الترتيب الأول. فمثلاً إن قيم $C \cdot t$ لـــ 99% و90% ستكون ثلاثة أرباع ونصف من قيم 99%. ولتصحيح الحرارة، يمكن افتراض تضاعف قيم معدّل التعطيل (زيادة مثلين) بزيادة درجة الحرارة بمقدار 90%. فمثلاً قيم $C \cdot t$ لـــ 15°C و25°C نصف وربع قيمة $C \cdot t$ لدى درجة حرارة 50°C على التوالي. ولدى درجات حرارة متوسطة، استخدم المعادلة 2-26 لحساب التغيّر في معدّل التعطيل. إن القيم المستقرأة خاضعة للخطأ وينبغي اعتبارها قيماً تقديرية فقط.

يدرج الجدول 7-4 قيم $C \cdot t$ من أجل تعطيل 0.5 log و1.0 log لكييسات ج. لامبيليا لدى قيم مختلفة لدرجات الحرارة وpH للكلور الحر، والكلورأمين سابق التشكل، وثاني أكسيد الكلور، والأوزون. تستند بيانات الكلور الحر إلى دراسات العدوى الحيوانية. بينما تستند بيانات المواد الكيميائية الثلاثة الأخرى إلى دراسات التعقيم في أثناء التسرب من الكييسات خارج العضويات (فحوص مخبريّة للكييسات في معلّق مياه معقم، متبوع باختبار قابلية للحياة أو النمو) للـــ ج. موريس، والذي يبدي رداً على التعطيل مشابه لذاك الذي يبديه ج. لامبيليا.

جدول 7-3: قيم C . t لتعطيل 99.9% (log 3.0) لكييسات الجياريديا لامبيليا بالكلور الحر لدى درجات حرارة وpH مختلفة

كلور حر متبقي (mg/l)	pH	حرارة الماء 0.5°C [(mg/l).min]	5°C [(mg/l).min]	10°C [(mg/l).min]	20°C [(mg/l).min]
0.4≥	6.5	163	117	88	44

52	104	139	195	7.0	
62	125	166	237	7.5	
74	149	198	277	8.0	
47	94	125	176	6.5	1.0
56	112	149	210	7.0	
67	134	179	253	7.5	
81	162	216	304	8.0	
52	104	138	197	6.5	2.0
62	124	165	236	7.0	
75	150	200	286	7.5	
91	182	243	346	8.0	
57	113	151	217	6.5	3.0
68	137	182	261	7.0	
83	166	221	316	7.5	
101	201	268	382	8.0	

المصدر : معدّل من: *Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources*, notes By David J. Hiltebrand and Linda Averell Wancho (Denver, CO: American Water Works Association, 1991).

إن قيم $C . t$ التجريبية لثاني أكسيد الكلور وللأوزون، قد ضربت بعامل أمان قدره 1.5 و 2 على التوالي، لتعديلها من أجل فحص التسرب من الكييسات خارج العضويات أكثر من أجل دراسة الإعداء الحيواني. لم تزود قيم بيانات الكلور أمين بعامل أمان نظراً إلى أن الكلورأمين (اتحاد كلور حر مع أمونيا في الماء) في الممارسة العلميّة أكثر فاعلية من تطبيق كلورأمين سابق التشكل. أما الأوزون ذو قيم $C . t$ منخفضة فهو أقوى المعقمات، يليه ثاني أكسيد الكلور ثم الكلور الحر. وبالرغم من أن الكلور الحر مادة كيميائية أضعف إلى حد ما، إلا أنه يُفضّل على غيره مقارنة بالأوزون وثاني أكسيد الكلور. والكلورأمين معقم ضعيف جداً لدرجة أنه يعتبر غير فاعل تجاه كييسات ج. لامبيليا.

يبين الجدول 7-5 قيم $C . t$ لتعطيل (3.0 log) و(2.0 log) الفيروسات لدى درجات حرارة وpH مختلفة. إن بيانات الكلور الحر لمتبقي 1.0 mg/l . وتستند قيم $C . t$ للكلور الحر إلى تعطيل فيروس التهاب الكبد الإنتاني A في الفحوص المخبريّة وتطبيق عامل أمان قدره 3. أما بيانات تعطيل ثاني أكسيد الكلور باستخدام فيروس التهاب الكبد الإنتاني A، فقد ضُربت بعامل أمانٍ 2. لقد اختبر التعطيل بواسطة كلورأمين سابق التشكّل باستخدام الفيروس الدولابي من دون عامل أمان. لقد أنجزت اختبارات الأوزون على فيروس شلل الأطفال باستخدام قيم $C . t$ حسبت باستخدام عامل أمان قدره 3. إن فاعلية هذه المواد الكيميائية الأربعة في تعطيل الفيروسات المعوية من الأقوى إلى الأضعف هي كالتالي: الأوزون، والكلور الحر، وثاني أكسيد الكلور، والكلورأمين.

تقدير الــ $C . t$ الفعلي في معالجة الماء

يصف الــ *Guidance Manual*[4] الذي نشرته *EPA* إجراءات تقدير $C . t$ في معالجة الماء. إن $C . t$ لنظام ما هو مجموع قيم $C . t$ المحسوبة للخزانات والأحواض المائيّة و للمياه المكلورة المنقولة بالأنابيب قبل وصولها إلى أول مستهلك. بينما C فهو متبقي الكلور الحر (أو متبقي أيّ معقّم) مُقاس عند نهاية كلّ جزء كلورة مقدراً mg/l، و t هو زمن التّماس المحسوب للجزء المشار إليه مقدراً بالدقيقة. فمثلاً إن أُضيف الكلور في محطة ضخ مع دخول الماء إلى الأنبوب وصُرف الماء في خزان تماس، فإن $C . t$ الكلّي سيكون حاصل ضرب قيمة الكلور المتبقي عند تصريف الأنبوب بزمن التّماس في أثناء العبور مضافاً إليه متبقي الكلور عند تصريف الخزان مضروباً بزمن t_{10}. ويحسب زمن التّماس في الأنبوب عبر تقسيم طول الأنبوب على سرعة الانسياب. فإن كان معدّل دخول الماء إلى الخزان ثابت، فإن زمن التّماس سيكون t_{10} مساوياً لطول الوقت لــ 10% من الماء الداخل للخزان إلى التصريف اعتباراً من الخزان.

ينبغي تقدير زمن التّماس t_{10} في الخزّانات والأحواض بدراسة القفاءات. يتم تحديد الخصائص الهيدروليكية لخزانٍ أو لحوضٍ بواسطة توزّع زمن مكوث جسيمات مُفردة للمياه في التصريف. وبسبب قصر الدارة والمزج المرتد، تتباين أزمنة المرور من ما دون زمن المكوث النظري لحجمٍ محدّد مقسوماً على معدّل الانسياب الداخل، إلى قيمٍ تتجاوز زمن المذكور.

جدول 4-7: قيم C . t لتعطيل (log 0.5) و(log 1.0) لكييسات الجيارديا لامبيليا

			درجة حرارة الماء				
	pH	تعطيل Log	0.5°C [(mg/l	5°C [(mg/l	10°C [(mg/l	15°C [(mg/l	20°C [(mg/l
كلور حر(*)	6	0.5	25	18	13	9	7
	6	1.0	49	35	26	18	13
	7	0.5	35	25	19	13	9
	7	1.0	70	50	37	25	18
	8	0.5	51	36	27	18	14
	8	1.0	101	72	54	36	27
كلورأمين منجز	9-6	0.5	640	370	310	250	190
	9-6	1.0	1300	740	620	500	370
ثاني أكسيد الكلور	9-6	0.5	10	43	4.0	3.2	2.5
	9-6	1.0	21	8.7	7.7	6.3	5.0
أوزون	9-6	0.5	0.48	0.32	0.23	0.16	0.12
	9-6	1.0	0.97	0.63	0.48	0.32	0.24

(*) تعتمد قيم الكلور الحر على متبقي قدره 1.0 mg/l.

المصدر: المصدر نفسه.

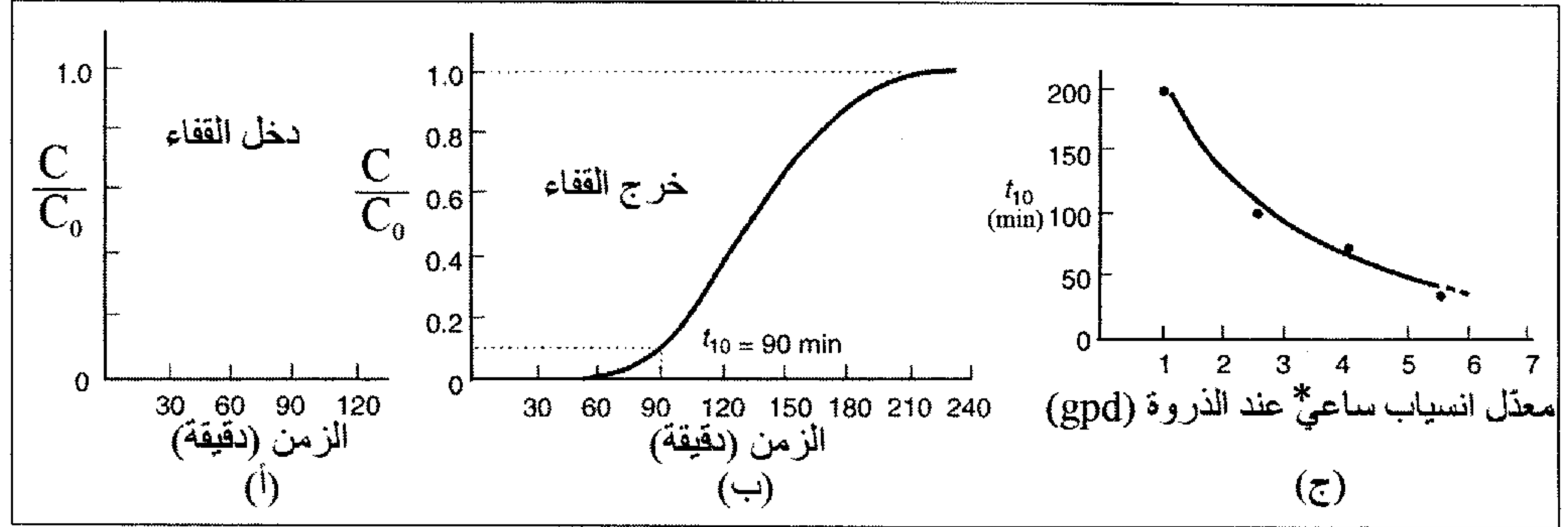
جدول 5-7: قيم C . t لتعطيل الفيروسات لدى درجات حرارة مختلفة و pH بين 9-6

		درجة حرارة الماء				
	تعطيل Log	0.5°C [(mg/l .min]	5°C [(mg/l .min]	10°C [(mg/l. min]	15°C [(mg/l. min]	20°C [(mg/l. min]
كلور حر	2.0	6	4	3	2	1
	3.0	9	6	4	3	2
	4.0	12	8	6	4	3
كلورأمين منجز	2.0	1200	860	640	430	320
منجز	3.0	2100	1400	1100	710	530
ثاني أكسيد الكلور	2.0	8.4	5.6	4.2	2.8	2.1
	3.0	25.6	17.1	12.8	8.6	6.4
أوزون	2.0	0.9	0.6	0.5	0.3	0.2
	3.0	1.4	0.9	0.8	0.5	0.4

المصدر: المصدر نفسه.

يوضح الشكل 7-7أ في الفقرة 7-3 منحني توزّع أزمنة المكوث عبر إدخال القفاء خطوة خطوة، والذي يعتبر الطريقة المفضلة لاختبار القفاء، كما هو مبين في الشكل 7-22. إن أيونات التقفي الشائعة هي أيونات الكلور والفلور، نظراً إلى أنها غير سامة ومُصادق على استخدامها في مياه الشرب. يدخل محلول بتركيز ثابت من القفاء إلى التدفّق الداخل إلى الحوض المائي. ويرمز لزمن الإدخال بالزمن صفر وللتركيز الثابت للقفاء بـــ C_0. يتم قياس التراكيز المتبقية للقفاء بفترات زمنيّة

منتظمة ويتم تعديلها عبر تقسيمها على تركيز C_0 ورسمها على المخطط كما هو ظاهر في الشكل 7-22 ب. يرسم خطّ أفقي من C/C_0 لقيمة 0.1 ليتقاطع مع منحني القفاء في التدفّق الخارج ومن نقطة التقاطع برسم خطّ شاقولي يحدد موقع t_{10} وعند هذا الزمن يكون 10% من القفاء قد مر عبر الحوض المائي.



* ساعي: أي في ساعة.

شكل 7-22: مخططات دراسة قفاء لتقدير أزمنة t_{10} لحساب قيم C . t لدى معدّلات انسياب الذروة الساعي بطريقة جرعة-خطوة. (أ) إدخال القفاء بتركيز ثابت. (ب) خرج القفاء المتبقي المطبّع (ج) أزمنة t_{10} لتحليل أربعة قفاءات لدى معدّلات مختلفة لانسياب الذروة الساعي.

لقد أجريت دراسة قفاءات شمولية لأربعة معدّلات انسياب مختلفة على الأقل تتراوح بين المعدلات الدنيا والمعدلات القصوى المتوقعة عبر المحطة خلال فترات انسياب الذروة. يظهر الشكل 7-22ج. رسماً بيانياً لأزمنة t_{10} مقابل معدّلات الانسياب وذلك لتقدير t من أجل حسابات $C\ .\ t$. وزمن التّماس t المُستخدم في حسابات t_{10} هو انسياب الذروة الساعي خلال اليوم.

تعقيم المياه السطحيّة

يتطلب القانون المؤقّت للمعالجة المُحسّنة للمياه السطحيّة[3] (IESWTR) الصادر عن EPA لإزالة و/أو تعقيم 99.9% (3.0 log) من كييسات لامبيليا، ولإزالة 99% و (2.0 log) من بيوض أنواع الكريبتوسبوروديوم، ولإزالة و/أو تعطيل 99.9% (4.0 log) على الأقلّ من الفيروسات المعوية. لقد عُرّفت المياه السطحية بأنها كافة الأمواه

المكشوفة والتي تتلقى جرياناً سطحياً ومياهاً جوفية والخاضعة للتلوّث باللامبيليا والكريبتوسبوروديوم وذلك بتأثير مباشر من الأمواه السطحية المجاورة. وتحدد المياه الجوفية الواقعة تحت تأثير مباشر للأمواه السطحية من خلال وجود العضويات المجهرية، والطحالب، والمُمرضات كبيرة الأقطار، مثل ج. لامبيليا، ومن خلال التغيّرات الملحوظة في العكورة، والحرارة والناقلية أو pH التي تُقارن وترتبط بظروف المياه السطحية المجاورة.

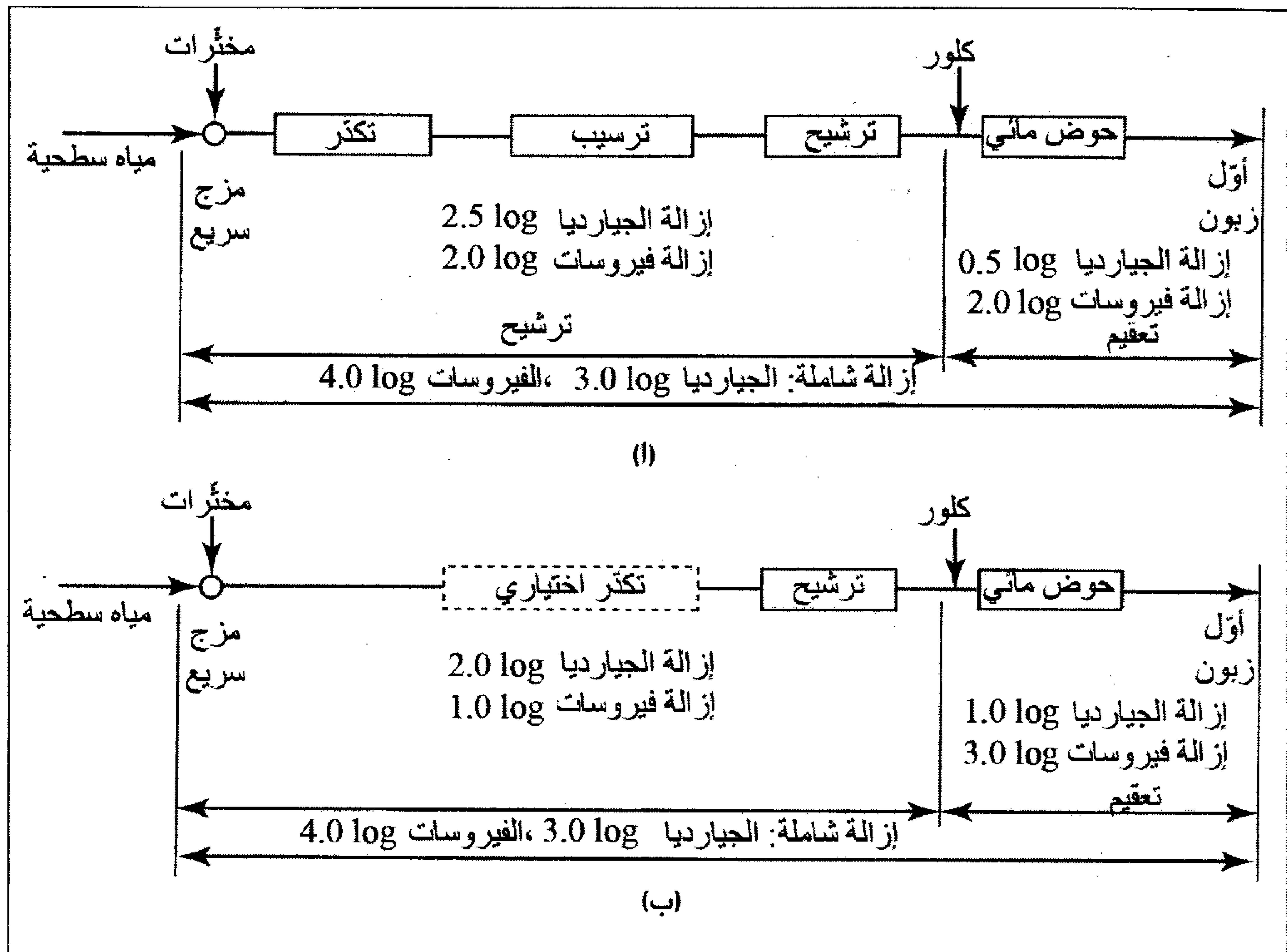
يتطلب القانون تخثيراً بوسط حُبيبيٍّ يعقبه تعقيم في المياه المعالجة. وفي أنظمة الترشيح التقليدية وأنظمة الترشيح المباشر، ينبغي مراقبة العكورة باستمرار في المياه المرشّحة في كل مرشح على حدة وذلك لتحديد الأداء السيّئ من أجل اتخاذ إجراء تصحيح مناسب. ينبغي أن تكون العكورة في التدفّق الموحّد الخارج من المرشح المأخوذة كل 15 دقيقة أقلّ أو تساوي 0.3 NTU لــ 95% على الأقل من القياسات المُنفّذة كل شهر. وينبغي أن لا يتجاوز التدفّق الموحّد 1 NTU. فإذا تمّ الإيفاء بمعايير عكورة الماء المرشّحة، فإنه يتم الافتراض أن متطلبات (2.0 log) لإزالة الكريبتوسبوروديوم قد تمّ التوصل إليها.

ولا يمكن أن يكون مجموع متبقيي الكلور الحرّ والكلور الموحّد في المياه الداخلة إلى نظام التوزيع أقلّ من 0.2 mg/l لأقل من 4 ساعات، كما ينبغي أن يكون متبقي الكلور في شبكة أنابيب التوزيع قابل للكشف في 95% من العينات التي تُختبر شهرياً. وأنّى كان متبقي الكلور غير قابل للكشف، فإن قياس البكتيريا عضوية التغذية عبر عدّها على الطبق، والبالغ 500 لكل مل، قد يُعتبر مكافئاً لمتبقي الكلور القابل للكشف.

إن ترشيح كافة المياه السطحية هو الهدف الرئيس لقوانين EPA، وفقط تحت شروط غير اعتيادية، يُقدَّم نظام مائيّ لتجمّع ما مياهاً سطحية غير مرشّحة. ولكن

يُسمح باستخدام مياه كهذه تحت شروط مشدّدة للغاية. وتبقى متطلبات التعقيم نفسها: %99.9 و(log 3.0) لتعطيل الجياردیا، %99 و(log 3.0) لتعطيل الكريبتوسبوروديوم، و%99.9 و(log 4.0) لتعطيل الفيروسات. ولا يمكن لمياه المصدر أن يتجاوز تركيز القولونيات البرازية فيها 20 ml في كل 100 ml أو أن يتجاوز تركيز القولونيات الكليّة فيها 100 ml في كل 100 ml، في %90 على الأقل من العينات المختبرة. ولا يسمح كذلك أن تتجاوز العكورة 5 NTU باستثناء حالة حدث استثنائي دون أن يتجاوز ذلك حدثين استثنائيين خلال الـ 12 شهراً الماضية. يتطلب الأمر برنامج ضبط شامل لحدود الفصل المائي وذلك لخفض التلوّث بالعناصر الممرضة إلى الحدّ الأدنى، كما ينبغي وضع برنامج لمراقبة نوعية الماء، ويتطلب الأمر كذلك تفتيشاً سنوياً في المكان، وبالتالي لا يمكن أن ينتشر المرض نقلاً بالماء. يظهر الشكل 7-23أ معالجة تقليدية بالتخثير، والترسيب، والترشيح والتعقيم بالكلور في حوض تخزين مائي.

تبلغ الإزالة الدنيا المتوقعة بالترشيح (log 2.5) لكييسات ج. لامبيليا و(log 2.0) للفيروسات المعوية لامبيليا، وتبلغ التعطيلات المطلوبة بواسطة التعقيم (log 0.5) لكييسات ج. لامبيليا و(log 2.0) للفيروسات المعوية. إن الترشيح المباشر بواسطة التخثير، والترشيح والتعقيم بالكلور في حوض تخزين مائي موضّح في الشكل 23-7ب. تبلغ الإزالة الدنيا المتوقعة بالترشيح (log 2.0) لكييسات ج. لامبيليا و(1.0 log) للفيروسات المعوية لامبيليا، وهي أقل من الإزالة بالطرق التقليدية، لذلك فإن التعطيل المطلوب بواسطة التعقيم يبلغ (log 1.0) لـــ ج. لامبيليا و(log 3.0) للفيروسات المعوية. وفي الممارسة الفعليّة، يمكن أن يضاف الكلور في مراحل مبكرة للمعالجة لزيادة $C . t$ من أجل التعقيم، شريطة أن لا تتسبب الكلورة المسبقة هذه بتراكيز مفرطة من الميثان ثلاثي الهالوجين وأحماض خلات الهالوجين.

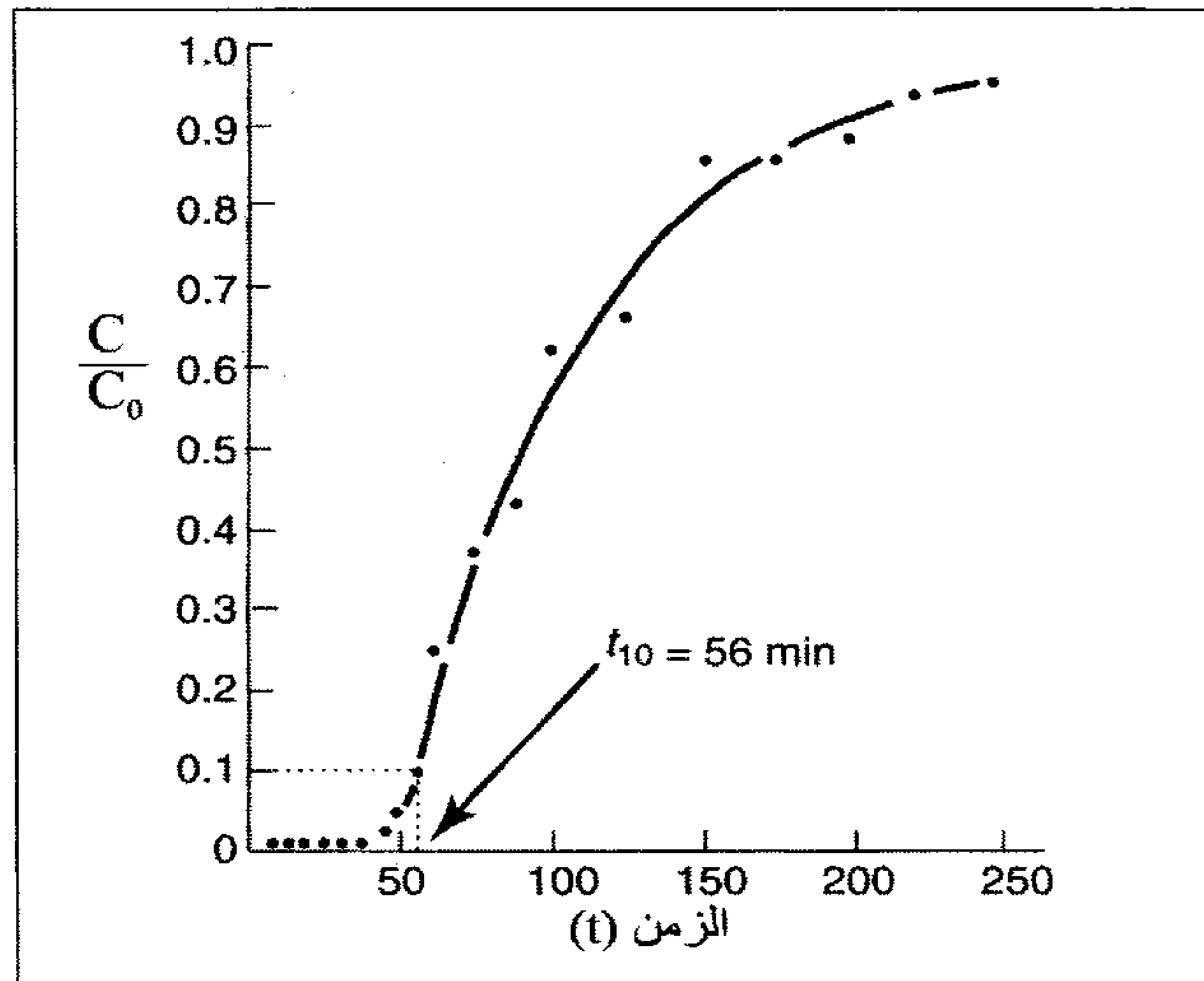


شكل 7-23: مخططات معالج المياه السطحية تسرد الإزالات المتوقعة للجيارديا والفيروسات في الترشيح والتعطيل الأدنى للجيارديا والفيروسات في التعقيم. (أ) معالجة تقليدية للمياه. (ب) معالجة ترشيح مباشر

مثال 7-13

تم إنشاء حوض مائي في محطة معالجة مياه سطحية لتخزين المياه المرشّحة قبل التوزيع وللتعقيم بواسطة متبقي الكلور. كما أنجزت دراسة قفاء بطريقة جرعة–خطوة وفق انسياب التصميم البالغ 2.5 mgd لتقدير t_{10}. بلغ حجم الماء في الخزان المليء عند زمن الاختبار 0.25 mil gal، والذي يكافئ زمن الاحتفاظ النظري البالغ 144 min. وكان القفّاء المُستخدم أيون الفلور من خلال إضافة حمض الفلورسيليسيك بواسطة مضخة قياس بجرعة بلغت 2.0 mg/l. تمّ قياس تركيز أيون الفلور في تصريف الحوض المائي كلّ 6 min اعتباراً من الزمن صفر

(زمن بدء دخول القفاء في التدفّق الداخل) في الساعة الأولى، ومن ثم بفواصل قدرها 12 دقيقة أو أكثر. أدرجت بيانات اختبار القفاء في الجدول 7-6. أحسب C/C_0 مقابل t ثم قدر t_{10}.



شكل 7-24: مخطط لــ C/C_0 مقابل t للمثال 7-13 بهدف تقدير t_{10}

الحل

إن قيم C/C_0 المحسوبة معطاة في الجدول 7-6، كما إن الرسم البياني لــ C/C_0 مقابل t موضّح في الشكل 7-24. ومقابل قيمة لــ C/C_0 تساوي 0.1 قدرت t_{10} بيانياً بــ 56 دقيقة.

جدول 7-6: بيانات اختبار قفاء C . t للمثال 7-13 لتقدير t_{10} كما هو موضّح في الشكل 7-24

زمن القياس، T (دقيقة)	قفاء الفلور، C (mg/l)	C/C_0[a] المحسوبة (بلا واحدات)
6	0	0
12	0	0
18	0	0
24	0	0
30	0	0

0	0	36
0	0	42
0.045	0.09	48
0.11	0.22	54
0.24	0.47	60
0.37	0.74	72
0.42	0.84	84
0.62	1.24	96
0.66	1.32	120
0.86	1.73	144
0.86	1.72	168
0.88	1.77	192
0.93	1.86	216
0.95	1.90	240

$C_0 = 2.0$ (mg/l) [(a)]

مثال 7-14

أنتجت محطة معالجة تقليديّة للمياه السطحية بإضافة مخثّر مع تكدّر وترسيب وترشيح، مياهاً مرشّحةً ذات عكورة أقل من 0.3 NTU وpH تبلغ 7 ودرجة حرارة تبلغ $10^{\circ}C$ بانسياب تصميم يبلغ 2.5 mgd. وبعد الترشيح، تمّت كلورة المياه في حوض صادٍّ ذي خصيصة هيدروليكيّة كتلك الموضّحة في الشكل 7-24. (أ) ما هو التعقيم المطلوب للمياه المرشّحة باستخدام الكلور الحر؟ (ب) إذا كانت المحطة تُدار بترشيح مباشر من دون ترسيب ما هو التعقيم المطلوب للمياه المرشّحة؟

الحل

(أ) في المعالجة التقليدية، تكون إزالة الجيارديا (2.5 log) تكون إزالة الفيروسات (2.0 log) بالترشيح تاركاً (0.5 log) لتعطيل الجيارديا و(2.0 log) لتعطيل الفيروسات (شكل 7-23أ).

إن $C . t$ الضرورية لـــ (0.5 log) لتعطيل الجيارديا من الجدول 7-4 هو 19 ،(mg/l) . min استناداً إلى متبقي كلور حر قدره 1.0 mg/l. (إن $C . t$ لدى متبقي كلور حر أقل سيكون أقل أيضاً بشكل طفيف). إن $C . t$ الضرورية لـــ (2.0 log) لتعطيل الفيروسات 3 ،(mg/l) . min وهي أقلّ بشكل معتبر عن تلك التي للجيارديا.

ومن الشكل 7-24 ولدى انسياب تصميم قدره2.5 mgd، فإن t_{10} يساوي 56 دقيقة، ولذلك فإن متبقي الكلور الحر المطلوب في طرح التصريف للحوض المائيّ الصّاد يساوي:

$$C = \frac{19\,(\text{mg/l}).\,\text{min}}{56\,\text{min}} = 0.34\ \text{mg/l}$$

ويفي متبقي الكلور أيضاً بمتطلبات المتبقي الدنيا البالغة 0.2 mg/l للمياه الداخلة إلى نظام التوزيع. وستكون المياه أيضاً مقبولة المذاق لدى معظم المستهلكين. إن متبقي كلور حرّ أكثر من 0.5 mg/l غير مرغوب من قبل معظم المستهلكين.

(ب) في معالجة الترشيح المباشر، تكون إزالة الجيارديا (2.0 log) وتكون إزالة الفيروسات (1.0 log) تاركةً (1.0 log) لتعطيل الجيارديا و(3.0 log) لتعطيل الفيروسات (شكل 7-23ب).

إن $C . t$ الضرورية لـــ (1.0 log) لتعطيل الجيارديا تبلغ 37 (mg/l) . min استناداً إلى متبقي كلور حر قدره 1.0 mg/l. إن $C . t$ الضرورية لـــ (3.0 log) لتعطيل الفيروسات تبلغ 4. ومن الشكل 7–24 فإن t_{10} يساوي 56 دقيقة.

$$C = \frac{37\,(\text{mg/l}).\,\text{min}}{56\,\text{min}} = 0.66\ \text{mg/l}$$

إن كمية الكلور المتبقي ملائمة جداً لحدٍ أدنى قدره 0.2 mg/l مطلوب، ولكن يرجح أن يكون غير مرغوب من قبل المستهلكين في المنطقة القريبة من مكان دخول المياه إلى شبكة الأنابيب.

C/C_0 t، دقيقة

7-16 معالجة المياه الجوفيّة

تقدم تجهيزات الآبار بالمياه عادةً مياهاً باردة غير ملوّثة ذات نوعية متجانسة لاستخدامات المدينة. وقد يكون من الضروري والمطلوب معالجة المياه الجوفية إما لإزالة الملوّثات السامّة أو لتحسين النوعية الجمالية. إن الفلزات الشائعة غير السامّة، هي العسرة والتي تتمثّل بالكالسيوم والمنغنيز والحديد والمغنزيوم. وقد تتلوّث المياه الجوفية في الأقاليم الزراعية بالنترات المتأتية من رشح الأسمدة أو من استخدام المبيدات الحشرية على السطح. وقد توجد مواد كيميائية صناعية في المياه الجوفية نتيجة طرح غير سليم لمياه الصرف الصناعيّ. أما المواد الكيميائية الزرنيخية والنوى المشعة ومواد لاعضوية أخرى فقد يكون مصدرها التشكيلات الجيولوجية الطبيعية.

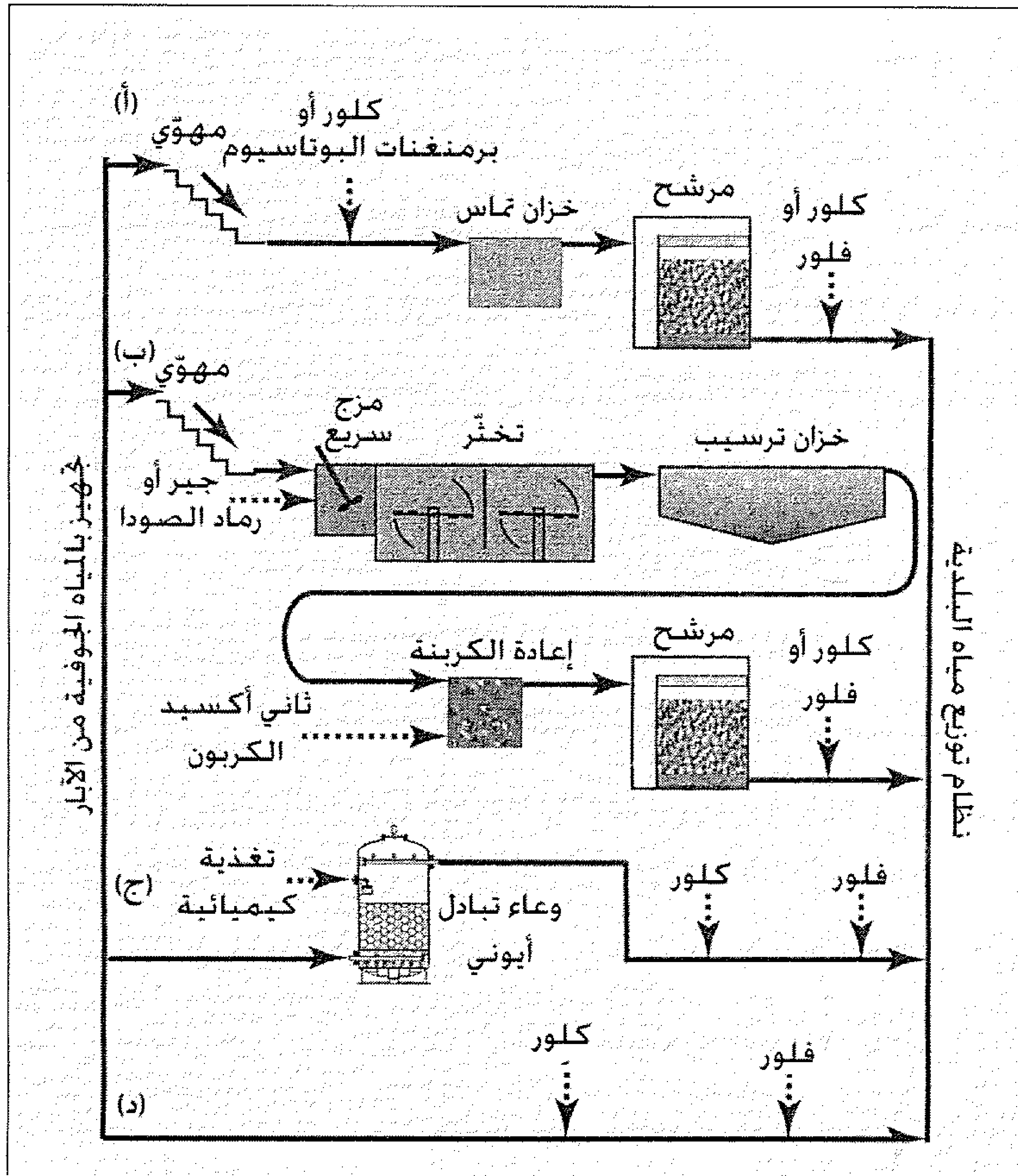
يظهر مخطط الخطوات المنطقية في الشكل المعالجات المختلفة للمياه الجوفيّة. يتأكسد الحديد والمنعنيز المُذابان في مياه البئر بملامستها للهواء لتشكّل جسيمات صغيرة صدئية تلوّن الماء. وكما هو جلي في (الشكل 7-25أ)، فإن الإزالة تتم عبر أكسدتها بالكلور أو ببرمنغنات البوتاسيوم وتتم إزالة الرواسب بالترشيح.

تستخدم إزالة العسرة بالترسيب كما هو موضّح في الشكل (7-25ب) لإزالة الكالسيوم والمنغنيز والجير ورماد الصودا الفائضة. وإن كان ضرورياً فإنّها تُمزج مع ماء البئر ليُزال من ثم الراسب الناتج. ويُستخدم ثاني أكسيد الكربون لحفظ توازن المياه المُزالة قساوتُها وذلك قبل الترشيح النهائي. والتهوية هي الخطوة الأولى الشائعة في معالجة المياه الجوفية وذلك لنزع الغازات المنحلة ولإضافة الأكسجين.

تُستخدم عملية التبادل الأيوني الموضحة في الشكل (7-25ج) أصماغاً غير قابلة للانحلال توضع في إناء بهدف إزالة الملوّثات المؤينة كالنترات والزرنيخ، تتألف حلقة التشغيل من إمرار مياه تغذية عبر الصمغ الذي سيخضع للتبادل والذي سيعقبه من ثم غسيل مرتد وانسياب المياه المالحة نحو الأسفل من أجل تجديد المياه

وإزاحة الأيونات الملوّثة للأسفل، ثم غسيل بالماء لإزالة الماء المالح المولد الفائض إلى الصرف.

إن أبسط معالجة والموضحة في الشكل (7-25د) هي الكلورة بهدف التعقيم، أما الفلورة فتتم بهدف إيجاد التركيز المثالي لفلورة هادفة لصحة الأسنان. يمكن للتجهيز بمياه الآبار أن يُكلور لتأمين وقاية متبقية تجاه تلوّث محتمل في مياه نظام التوزيع. وفي حالة الآبار الضحلة غير الخاضعة لتأثير مباشر للمياه السطحيّة، فيمكن للكلورة أن تعقّم المياه الجوفية وتوفر وقاية متبقية سواء بسواء.



شكل 7-25: مخططات انسياب لأنظمة معالجة مياه جوفية نموذجيّة. (أ) إزالة حديد ومنغنيز (ب) إزالة عسرة بالترسيب، (ج) تبادل أيوني، (د) تعقيم وفلورة

7-17 إزالة العسرة بالترسيب

تنتج عسرة الماء بسبب أيونات الكالسيوم والمغنزيوم الناتجة من مياه موجودة على تماس مع تشكيلات جيولوجية. يتفاوت قبول عامّة الناس للعسرة، علماً أن الكثير منهم يعترض على مياهٍ ذات عسرة أعلى من 150 mg/l. إن المستوى الأعظمي للعسرة المعتبرة للتجهيز العام بالماء يترواح بين 300 mg/l و500. تعرّف المياه متوسطة العسرة عموماً، بأنها مياه ذات محتوى يتراوح بين 60-120 mg/l. تتعارض العسرة مع الغسيل متسببة بزيادة استهلاك الصابون، كما يحتمل تسبّبها بتشكّل قشور في سخانات وأنابيب الماء. لقد تمّ تجاوز هذه المساوئ إلى حد بعيد عبر استخدام المنظفات الصناعية وبتبطين أنابيب الماء في سخانات الماء الصغيرة. أما في الصناعة فتخضع مياه المراجل عموماً إلى معالجة مسبقة منعاً لتشكّل القشور.

تستخدم إزالة العسرة بواسطة الترسيب بالجير CaO ورماد الصودا Na_2CO_3 لإزالة الكالسيوم والمغنزيوم من المحلول. إضافة إلى ذلك فإن للمعالجة بالجير فوائد عرضية تتمثّل بفعل مبيد للجراثيم، وإزالة الحديد، والمساعدة في ترويق المياه السطحية العكرة. يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون لإعادة الكربنة بعد المعالجة بالجير لتخفيض الـ pH وذلك عبر تحويل فائض أيون الهيدروكسيد وأيون الكربونات إلى بيكربونات.

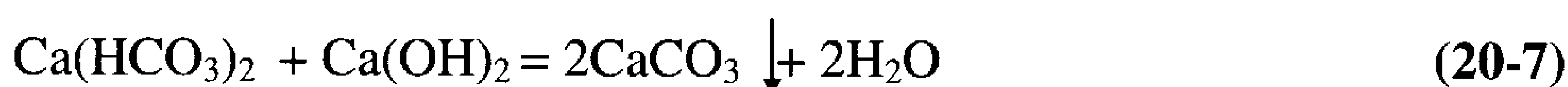
يباع الجير تجارياً بشكلين، جير سريع وجير مهدرج. يتوفر الجير السريع بشكل حُبيبات من CaO بنسبة نقاء قدرها 90%، يكون فيها أكسيد المغنزيوم هو الشائب الأساسيّ. يُستخدم مثبّط لتحضير الجير السريع من أجل تغذية روبة تحوي 5% تقريباً من كربونات الكالسيوم. ويمكن أيضاً تحضير جير مسحوق أو محلماً يحوي 68% CaO، وذلك عبر ملء خزان يحوي خلاط نفاث. تكتب صيغة الروبة الكلسية في المعادلات الكيميائية كالتالي $Ca(OH)_2$. أما رماد الصودا فهو مسحوق أبيض رمادي يحتوي على 98% على الأقل من كربونات الصوديوم.

ثاني أكسيد الكربون غاز صاف عديم اللون والرائحة يُستخدم في إعادة كربنة الماء وإعادة توازن المياه التي أزيل منها عسرة الجير. وينتج هذا الغاز من حرق الوقود، كالفحم والنفط والغاز. وتُضبط نسبته إلى الهواء بعناية في مولد (CO_2) لتأمين احتراق كامل. يُجبَر الغاز الموجود تحت ضغط ناجم عن غرفة الاحتراق على المرور عبر ناشرات للغاز مغمورة في حوض المعالجة. يقوم عدد من المصنعين بإنتاج أنظمة إعادة الكربون (Recarbonation) إلى المياه لتوليد ثاني أكسيد الكربون وتغذيته.

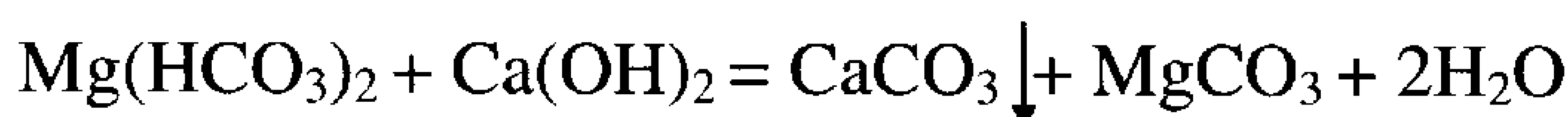
والتفاعلات الكيميائية في إزالة العسرة بالترسيب هي الآتية:



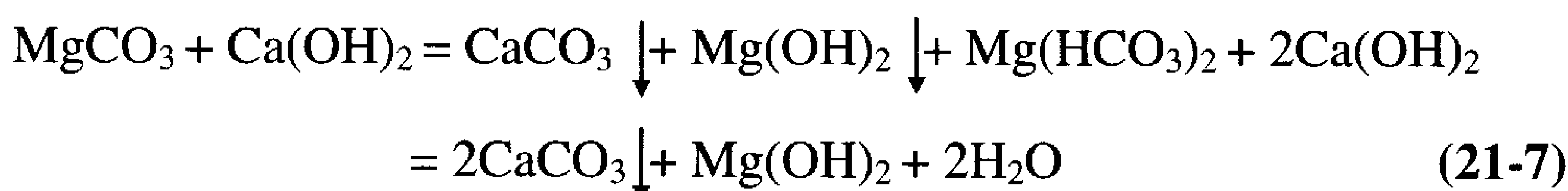
$$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O \qquad \textbf{(19-7)}$$



$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O \qquad \textbf{(20-7)}$$



$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + MgCO_3 + 2H_2O$$

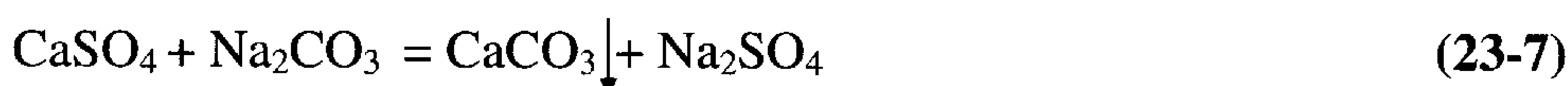


$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2$$

$$= 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2 + 2H_2O \qquad \textbf{(21-7)}$$



$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaSO_4 \qquad \textbf{(22-7)}$$



$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4 \qquad \textbf{(23-7)}$$

يتفاعل الجير المضاف في بادئ الأمر مع أيّ ثاني أكسيد الكربون حر، مشكلاً راسب كربونات كالسيوم، المعادلة 7-19. بعد ذلك يتفاعل الجير مع أيّ كربونات كالسيوم موجودة، المعادلة 7-20. وفي كلا المعادلتين، فإن مكافئاً من الجير سيتفاعل مع مكافئ من CO_2 أو $Ca(HCO_3)_2$. ونظراً إلى أن المغنزيوم يترسب على شكل $Mg(OH)_2$ (لكون $MgCO_3$ ذوّاب)، فإن مكافئين من الجير ضروريان لإزالة مكافئ واحد من بيكربونات المغنزيوم، المعادلة 7-21. أما العسرة غير الكربوناتية (كبريتات أو كلور الكالسيوم والمغنزيوم)، فتتطلب إضافة رماد الصودا

للترسيب. تُظهر المعادلة 7-23 أن مكافئاً واحداً من رماد الصودا يزيل مكافئاً واحداً من كبريتات الكالسيوم. غير أن كبريتات المغنزيوم تحتاج إلى كلٍّ من الجير، المعادلة 7-22 ورماد الصودا، المعادلة 7-23.

يمكن إنقاص أيون الكالسيوم بفاعليةٍ من خلال إضافات الجير المحدّدة بالمعادلات التي ترفع من قيمة pH الماء إلى ما يقارب 10.3، لكن ترسيب أيون المغنزيوم يتطلب قيم pH أعلى، كما يتطلب وجود فائض من الجير بمقدار يصل إلى 35 mg/l من CaO (1.25 meq/l) فوق متطلبات الارتباط الكيميائي. إن الحدود العملية لإزالة العسرة بالترسيب بصورة $CaCO_3$ هي 30 mg/l إلى 40 من $CaCO_3$، و 10 mg/l من $Mg(OH)_2$، علماً أن الذوبانية الافتراضيّة لهذه المركَّبات أقلّ بكثير، إذ تبلغ خُمس هذه الحدود.

تكمن محاسن طريقة إزالة العسرة بالترسيب في أن الجير المضاف يُزال أيضاً مع العسرة التي تُزال من المحلول. وبالتالي فإن المواد الصلبة المُذابة الكليّة ستقلّ. وعند إضافة رماد الصودا، المعادلة 7-23، فإن أيونات الصوديوم ستبقى في المياه المعالجة بجانب الأنيونات المرافقة، والتي تكون إما كلوراً أو كبريتات، غير أن العسرة غير الكربوناتية والتي تتطلّب إضافة رماد الصودا تكون عموماً جزءاً صغيراً من العسرة الكليّة في الماء الخام. ويمكن أيضاً استخدام التفاعلات الكيميائية لإزالة العسرة بالجير ورماد الصودا لتقدير كمية الماد الصلبة المُنتجة في حمأة الصرف.

يمكن استخدام إعادة الكربنة لتحقيق توازن المياه التي تمت معالجتها بالجير، ولتخفيف قدرتها على إنتاج القشور. يقوم ثاني أكسيد الكربون بتحييد الجير الفائض، ومن ثم ترسيبه بصورة كربونات كالسيوم. يؤدي المزيد من إعادة الكربنة إلى تحويل الكربونات إلى بيكربونات.



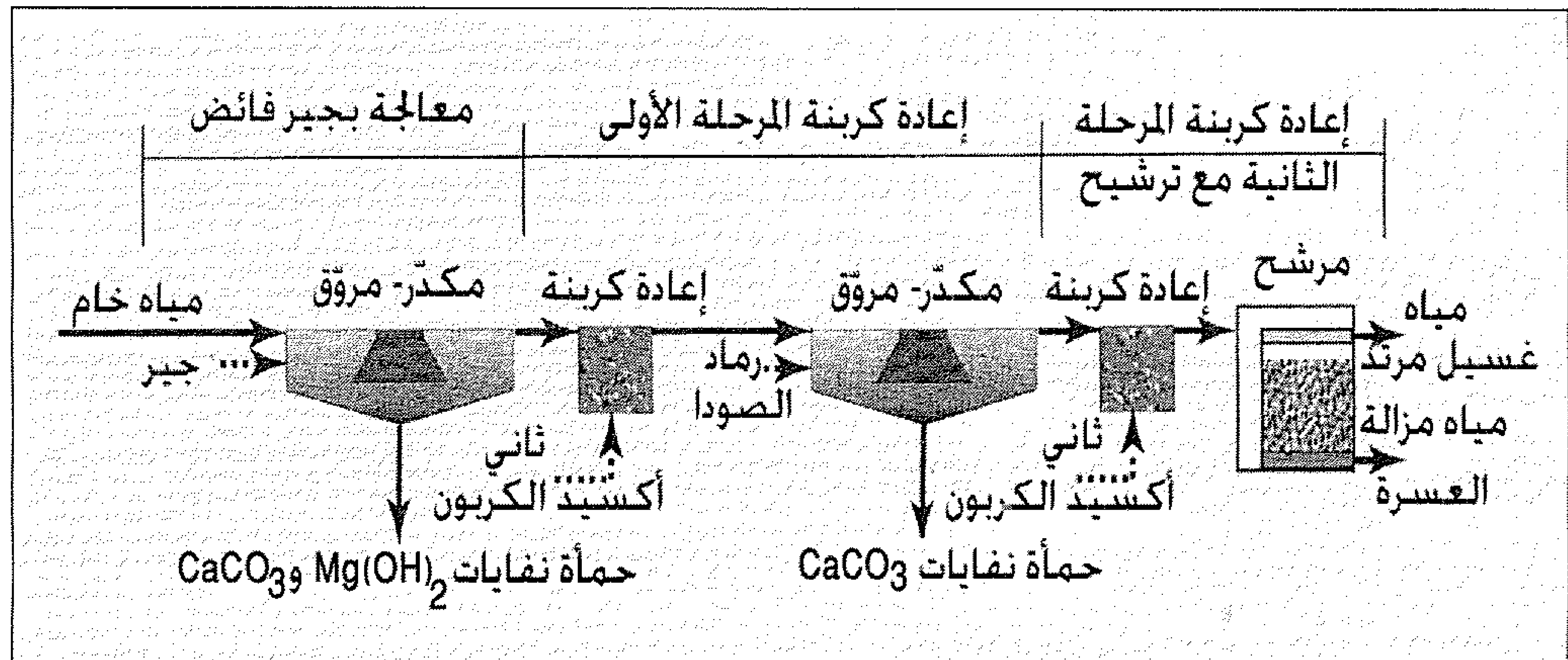
$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O \qquad \textbf{(24-7)}$$



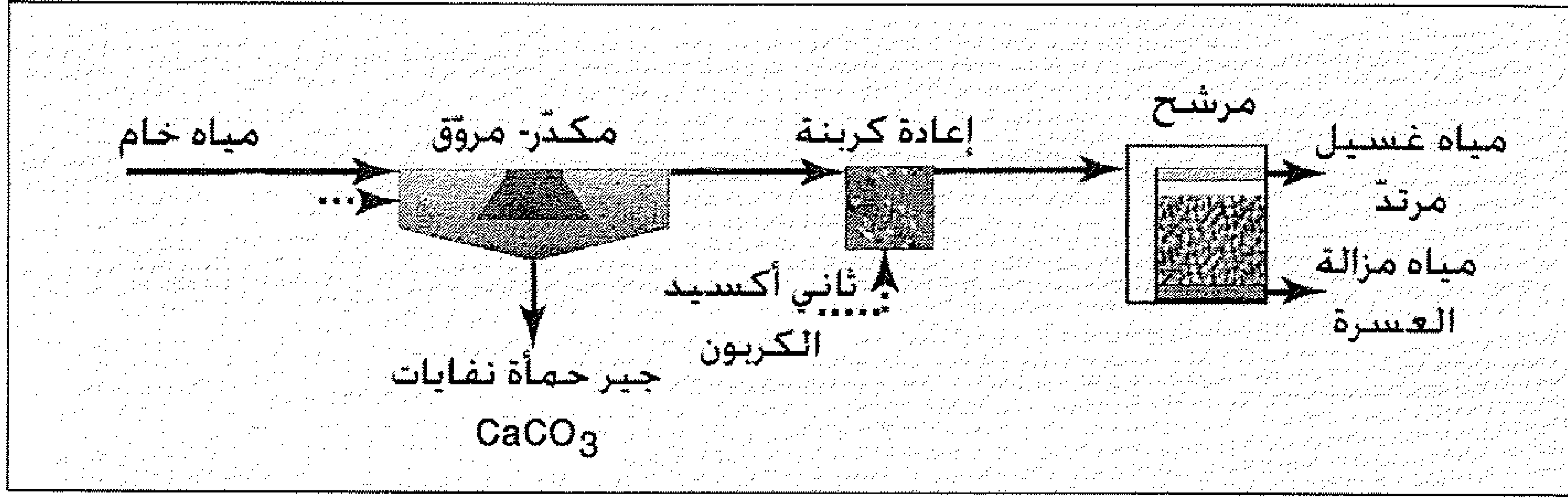
$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2 \qquad \textbf{(25-7)}$$

إزالة العسرة بالجير الفائض

تُستخدم المعالجة بالجير الفائض لإزالة عسرة الكالسيوم والمغنزيوم إلى الحدود العملية البالغة 40 mg/l. تُقدّر جرعات الجير ورماد الصودا باستخدام التفاعلات الكيميائيّة، مع إضافات الجير الفائض اللازم لترسيب المغنزيوم. يظهر الشكل 7-26 مخططاً لسير العمليات العام لإزالة العسرة بفائض الجير مكوّناً من مرحلتين. بعد إضافة فائض الجير تخثّر الماء ويبدأ الترسيب لإزالة راسبي $CaCO_3$ و$Mg(OH)_2$. تجري عملية إعادة كربنة على مرحلتين. ففي المرحلة الأولى، يُضاف ثاني أكسيد الكربون لتخفيض pH إلى قرابة 10.3 ولتحويل الجير الفائض المُذاب إلى $CaCO_3$ صلب، (المعادلة 7-24) ومن ثم إزالته بالتخثير والترسيب. وإن تطلب الأمر، يضاف رماد الصودا في هذه المرحلة لترسيب عسرة الكالسيوم غير الكربوناتية. وفي المرحلة الثانية، تخفض pH أكثر إلى مجال 8.5-9.5 لتحويل معظم أيون الكربونات المتبقي إلى أيون بيكربونات (المعادلة 7-25) لتحقيق توازن المياه ومنع تشكّل القشور خلال الترشيح في شبكة أنابيب التوزيع.



شكل 7-26: مخطط انسياب تصويري لمحطة معالجة بالجير الفائض على مرحلتين



شكل 7-27: مخطط انسياب تصويري لمحطة إزالة عسرة كربونات الكالسيوم من مرحلة واحدة

إزالة انتقائية لكربونات الكالسيوم

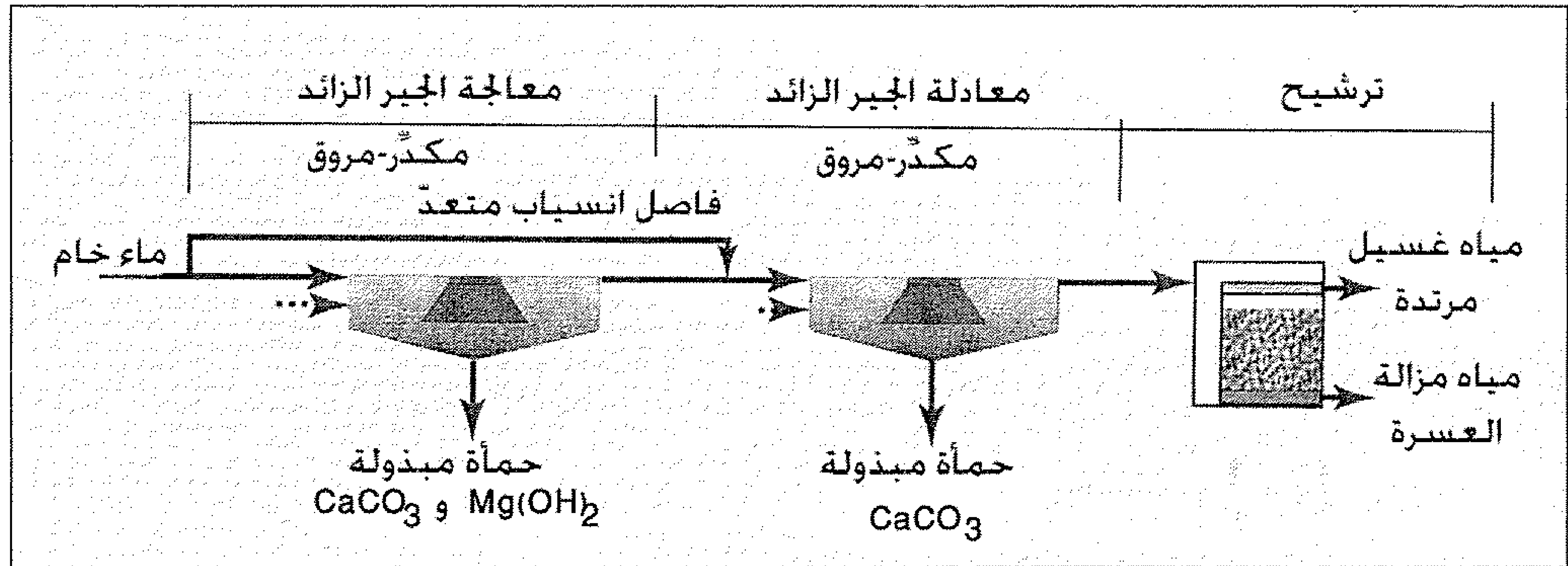
قد تُستخدم الإزالة الانتقائية لكربونات الكالسيوم لإزالة العسرة في مياه ذات عسرة مغنزيوم منخفضةٍ تبلغ أقل من 40 mg/l من $CaCO_3$. لا يوصى أن تكون عسرة المغنزيوم أكبر من 40 mg/l، بسبب احتمال تشكّل قشور سيليكات مغنزيوم قاسية في مرافق درجات حرارة عالية ($180^{\circ}F$). يتكوّن مخطط العمليات المعتاد من ترسيب بالجير مع إعادة كربنة مكوّن من مرحلة واحدة يعقبها ترشيح كما هو موضّح في الشكل 7-27. يُضاف جير كافٍ لتخفيف العسرة إلى الحدّ المطلوب عبر الترسيب إنما دون إضافة جير فائض يتسبّب بإزالة المغنزيوم. قد يتطلب الأمر إضافة رماد الصودا وذلك تبعاً لمقدار العسرة غير الكربوناتية. إذا لم يترسب $CaCO_3$ بشكل مُرضٍ، يمكن إضافة بوليمير أو الشبّة للمساعدة في التخثير. يتم عادةً القيام بإعادة كربنة لتخفيف تشكّل القشور على أوساط المرشح وكذلك لإنتاج مياه مُزالة العسرة ومتوازنة.

إزالة العسرة بمعالجة منفصلة

تتكون المعالجة المنفصلة من تقسيم المياه الخام إلى قسمين لإزالة عسرتها في نظام ثنائي المرحلة في مخطط عمليات موضّح بالشكل 7-28. يخضع القسم الأكبر لمعالجة مستفيضةٍ بالجير في المرحلة الأولى وذلك باستخدام مكدّر–مروّق أو أحواض مزج وترسيب مرتبة بالتسلسل. يُضاف رماد الصودا إلى المرحلة الثانية،

حيث يُمزج الانسياب المنفصل مع المياه المُعالَجة. يتفاعل فائض الجير المُستخدم في فرض ترسيب المغنزيوم في المرحلة الأولى، الآن مع عسرة الكالسيوم التي تخطّت معالجة الجير. وهكذا يُستعمل الجير الفائض في عملية إزالة العسرة بدلاً من هدره على حساب تحييد ثاني أكسيد الكربون. وإعادة الكربنة غير مطلوبة عادة، غير أنه قد تكون مرغوبة في معالجة بعض أنواع الماء لإعادة توازنها. ونظراً إلى أن مستويات عسرة تتراوح بين 80 mg/l و100 تُعتبر عموماً مقبولةً، لذا يمكن أن تعطي المعالجة المنفصلة توفيراً كيميائياً كبيراً. فتكاليف الجير وإعادة الكربنة أقل من المعالجة بالجير الفائض، ولكي تبقى مزية تخفيف عسرة المغنزيوم في ما دون 40 mg/l ممكنةً. يمكن حساب كمية المغنزيوم في المياه المعالجة عبر ضرب الانسياب الجانبي بتركيز المغنزيوم في المياه الخام، وإضافة ناتج ضرب الانسياب المعالج بالجير بـــ 10 mg/l مقسوماً على انسياب المياه الخام الكلي. يتم تقدير كمية الانسياب المنفصل حول المرحلة الأولى غالباً من خلال مستوى المغنزيوم المرغوب في المياه المُزالة عسرتها.

قد لا تسمح إزالة عسرة المياه السطحية بانسيابٍ جانبي ما لم تتم معالجتها لإزالة العكورة. وفي هذه الحالة يتم معالجة أحد القسمين بشكل متكرّر باستخدام مختر كالشبّة. إضافة إلى ذلك، يمكن استخدام مساعدات تخثّر أو كربون منشط أو كلاهما في مزج المرحلة الثانية.



شكل 7-28: مخطط انسياب تصويري لإزالة العسرة بمعالجة منفصلة

مثال 7-15

يجب إزالة عسرة الماء المحدّدة بالتحليل التالي باستخدام معالجة بالجير الفائض. افترض أن الحدود العملية لإزالة عسرة $CaCO_3$ تبلغ 30 mg/l و للـــ $Mg(OH)_2$ تبلغ 10 mg/l بصورة $CaCO_3$.

CO_2 = 8.8 mg/l	Ca^{++} = 40.0 mg/l	Mg^{++} = 14.7 mg/l
Na^+ = 13.7 mg/l	Alk (HCO_3^-) = 135 mg/l as $CaCO_3$	
SO_4 = 29.0 mg/l	CL^- = 17.8 mg/l	

(أ) ارسم مخطط أعمدةٍ بيانيٍّ، وضع قائمة بالاتحادات الافتراضيّة للمركبات الكيميائية في المحلول.

(ب) احسب مواد إزالة العسرة الكيميائية الضرورية معبراً عن الجير بـــ CaO وعن رماد الصودا بـــ Na_2CO_3.

(ج) ارسم مخطط أعمدةٍ بيانيٍّ للمياه المُزالة عسرتُها قبل وبعد إعادة الكربنة. افترض أن نصف قلوية الماء المُزالة عسرتها بصورة بيكربونات.

الحل

meq/l	وزن مكافئ	mg/l	المكوّن
0.40	22.0	8.8	CO_2
2.00	20.0	40.0	Ca^{++}
1.21	12.2	14.7	Mg^{++}
0.60	23.0	13.7	Na^+
2.70	50.0	135	Alk
0.60	48.0	29.0	SO_4^{--}
0.51	35.0	17.8	Cl^-

(أ) من مخطط الأعمدة البياني للـــ meq/l المرسوم في الشكل (7-29أ)، فإن الاتحادات الافتراضيّة هي $Ca(HCO_3)_2$، $Mg(HCO_3)_2$ ، $MgSO_4$،

Na_2SO_4، و$NaCl$. عسرة الكالسيوم $2.00 \times 50 = 100$ mg/l بصورة $CaCO_3$
وعسرة المغنزيوم = $1.21 \times 50 = 60.5$ mg/l

رماد الصودا meq/l	الجير meq/l	المعادلة القابلة للتطبيق	meq/l	المكوّن
0	0.40	19-7	0.40	CO_2
0	2.00	20-7	2.00	$Ca(HCO_3)_2$
0	1.40	21-7	0.70	$Mg(HCO_3)_2$
0.51	0.51	23-7 22-7	0.51	$MgSO_4$
0.51	4.31			

(ب) تساوي جرعة الجير المطلوبة مقداراً ضرورياً لتفاعلات إزالة العسرة إضافة إلى 35 mg/l من الجير الفائض لترسيب المغنزيزم.

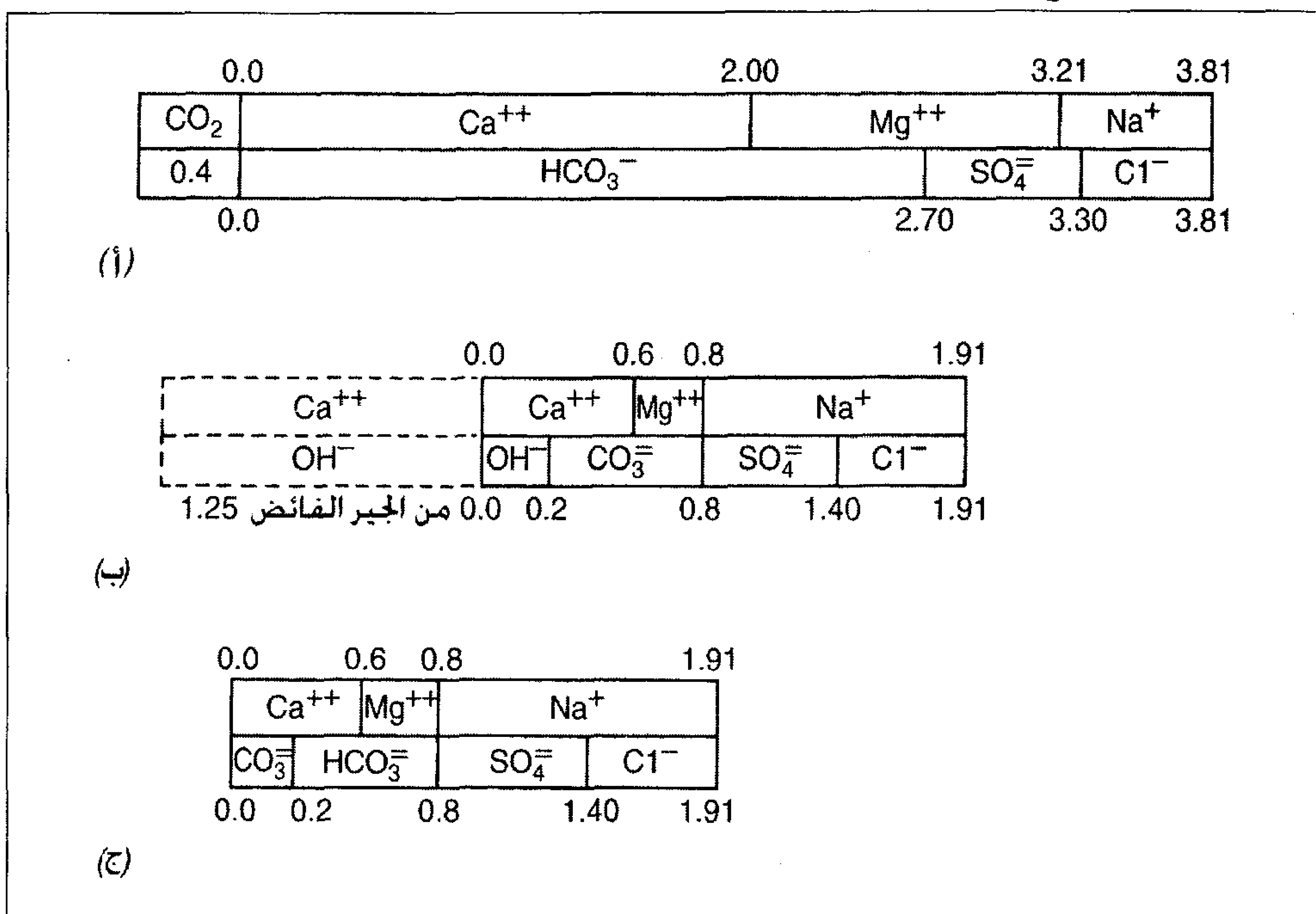
الجرعة = $4.31 \times 28 + 35 = 156$ mg/l من الـــ CaO

جرعة رماد الصودا = $0.51 \times 53 = 27$ mg/l من الـــ Na_2CO_3

(ج) يظهر الشكل (7-29ب) مخطط أعمدة بيانيّ افتراضيّ للمياه بعد إضافة المواد الكيميائية لإزالة العسرة. يمثّل الصندوق ذي الخطوط المتقطعة إلى يسار الصفر الجير الفائض (CaO 35 mg/l = 1.25 meq/l) الذي تمت إضافته لزيادة الـــ pH بدرجة كافية كي يرسب الـــ $Mg(OH)_2$. إن 0.6 (meq/l من Ca^{++}) (30 mg/l بصورة CaO_3) و(0.2meq/l من Mg^{++}) (10 mg/l بصورة $CaCO_3$) هي الحدود العملية لتخفيف العسرة. إن (1.11 meq/l) من Na^{++}) هي مجموع الصوديوم الموجود أصلاً في الماء (0.60 meq/l) مع الكمية التي زيدت عبر إضافة رماد الصودا (0.51 meq/l). وتتألف القلويّة من (0.20 meq/l) من OH^- مترافقة مع $Mg(OH)_2$، والباقي يكون (0.60 meq/l) من أيون الكربونات. وتبقى قيم Cl^- وSO_4^{--} بلا تغيير في أثناء عملية إزالة العسرة.

تحوّل إعادة الكربنة الجير الفائض إلى راسب كربونات كالسيوم، المعادلة 7-24، والتي تُزال عبر الترسيب والفلترة في المرحلة الثانية. تحوّل الإضافات

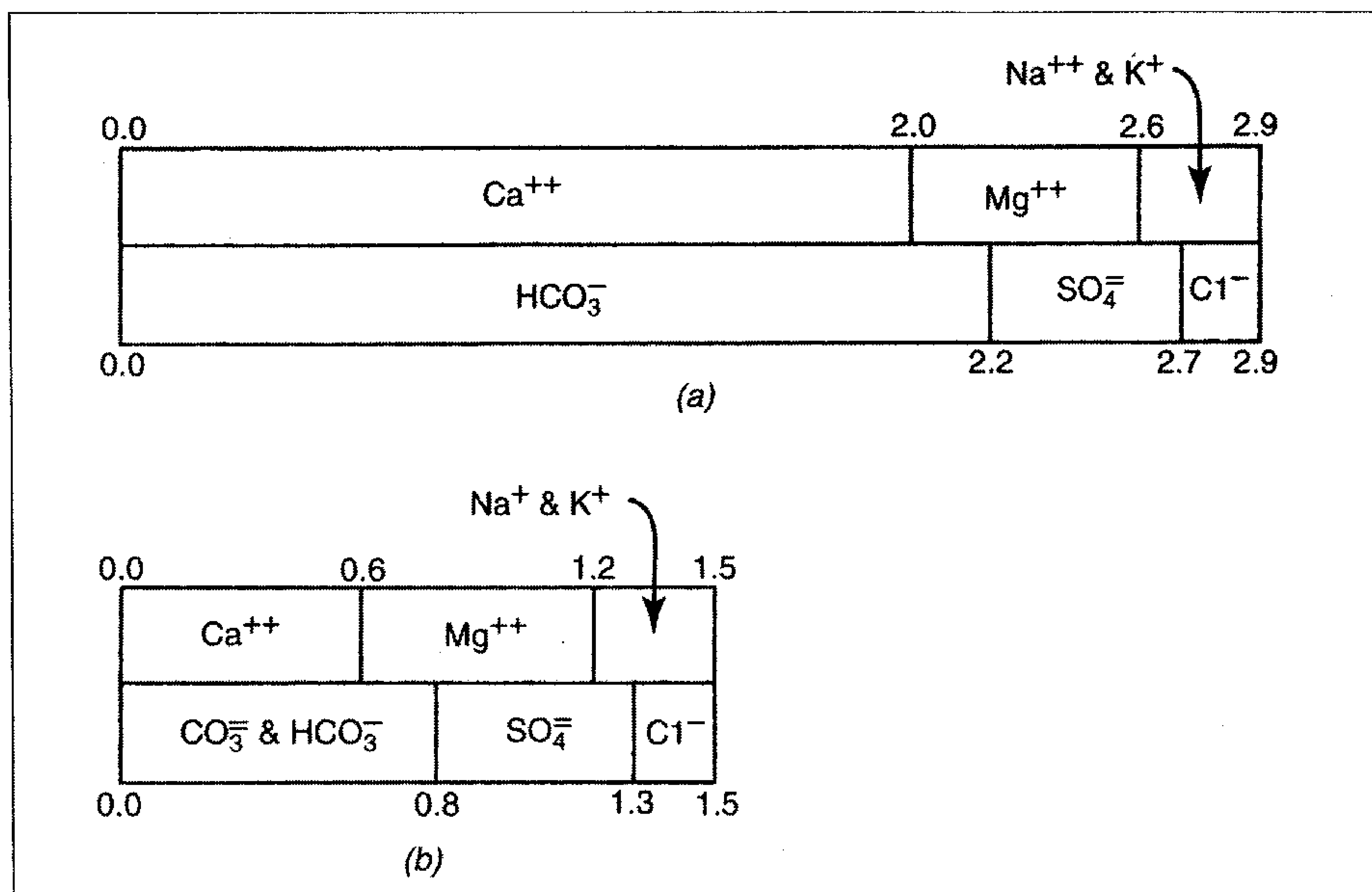
الآتية من ثاني أكسيد الكربون CO_3^{--} إلى HCO_3^-، المعادلة 7-25. توضح المعادلة 7-25 والشكل (7-29ج) تركيب المياه المعالجة المتوازنة المستقرة بعسرة كلية تبلغ 40 mg/l.



شكل 7-29: مخطط أعمدة بياني للمياه الخام والمياه المعالجة بـ meq/l للمثال 7-15. (أ) مياه خام قبل أيّ معالجة. (ب) مياه بعد إزالة العسرة بالجير الفائض. (ج) مياه مزالة عسرتها برماد الصودا يعقب إعادة الكربنة والترشيح

مثال 7-16

ادرس إزالة العسرة من خلال إزالة انتقائية لكربونات الكالسيوم من مياهٍ خام يمثّلها مخطط أعمدةٍ بيانيّ مبيّن في الشكل (7-30أ). احسب جرعة الجير المطلوبة بصورة CaO، ثم ارسم مخطط أعمدة بيانياً للمياه المُزالة عسرتُها بعد إعادة الكربنة والترشيح.



شكل 7-30: مخطط أعمدة بياني للمياه الخام والمياه المعالجة بــ meq/l للمثال 7-16. (أ) مياه خام قبل أيّ معالجة. (ب) مياه بعد إزالة انتقائية للكربونات الكالسيوم، إعادة الكربنة وترشيح.

الحل

إن الاتحاد الافتراضي الوحيد الذي يتضمّن الكالسيوم هو 0.2 meq/l من $Ca(HCO_3)_2$، ولذلك ما من حاجةٍ إلى رماد صودا، وسيكون الجير المطلوب 2.0 meq/l (المعادلة 7-20)، والتي تعادل 56 mg/l من CaO.

إن لمخطط أعمدة بيانيّ لمياه المُزالة عسرتها، 0.6 meq/l من عسرة الكالسيوم (الحد العملي هو 30 mg/l)، ومن القلويّة الكليّة 0.8 meq/l، والتي تكون 0.6 meq/l من الحدّ العملي و0.2 meq/l مترافقةً مع المغنزيوم في مخطط الأعمدة البيانيّ. تحدّد درجة إعادة الكربنة الكميات النسبية لأنيونات الكربونات والبيكربونات. بينما تبقى الأيونات الأخرى في الماء المُزالة عسرتها كما هي في المياه الخام.

مثال 7-17

ادرس إزالة العسرة بالترسيب بواسطة معالجة منفصلة للمياه الخام الموصوفة في المثال 7-15. افترض أن 40% من المياه الخام قد تفادت المعالجة وأن الـــ 60%

قد أُخضعت لمعالجة بجير فائض في المرحلة الأولى. احسب كمية المواد الكيميائية المطلوبة والعسرة النهائية للمياه.

الحل

يُعالج الانسياب المار عبر المرحلة الأولى بالأسلوب المُتبع نفسه في المعالجة بالجير الفائض الموصوف في حل المثال 7-15. غير أن إضافات المواد الكيميائية قد خفضت إلى 60%، نظراً إلى أن جزءاً قدره 60% فقط من المياه الخام يتم معالجته.

جرعة الجير : $0.60 \times 156 = 94$ mg/l CaO بصورة

رماد الصودا : $0.60 \times 27 = 16$ mg/l Na_2CO_3 بصورة

إن الشكل (7-29أ) هو مخطط أعمدة بيانيّ للمياه الممررة جانبياً، والشكل (7-29ب)، هو تحليل التدفّق الخارج من المرحلة الأولى. ويتم مزج هذين الجزأين في المرحلة الثانية، حيث يتفاعل الجير الفائض مع الماء غير المعالجة. وتساوي كمية الهيدروكسيد الفائض في تياري الانسيابين الممتزجين:

$$0.60 \times (1.25 + 0.20) = 0.87 \text{ meq/l}$$

والمكوّنات الأخرى ذات الاهتمام الممزوجة في المياه هي:

$$CO_2 = 0.40 \times 0.40 = 0.16 \text{ meq/l}$$
$$Ca(HCO_3)_2 = 0.40 \times 2 = 0.80 \text{ meq/l}$$

أولاً يتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون بواسطة الجير الفائض:

$$0.87 \text{ meq/l} - 0.16 \text{ meq/l} = 0.71 \text{ meq/l}$$

تتفاعل بقية ثاني أكسيد الكربون مع بيكربونات الكالسيوم مرجعة إياها إلى

$$0.80 \text{ meq/l} - 0.71 \text{ meq/l} = 0.09 \text{ meq/l}$$

وتساوي عسرة الكالسيوم النهائية هذا المتبقي إضافة إلى الكمية الحديّة لإزالة كربونات الكالسيوم بصورة كربونات

$$(0.09 \text{ meq/l} + 0.60 \text{ meq/l}) \times 50 = 35 \text{ meg/l } CaCO_3$$

وتساوى عسرة المغنزيوم في المياه النهائية

بصورة CaO_3 (0.40 x 1.21 meq/l + 0.60 x 0.20 meq/l) × 50 = 35 mg/l

والعسرة الكليّة في الماء المُزالة عسرتها ستكون 30 + 35 = 65 mg/l

18-7 إزالة الحديد والمنغنيز

إن أيون الحديدوز (Fe^{++})، وأيون المنغنيز (Mn^{++})، أشكال مذابة غير مرئية قد توجد في مياه الآبار أو أحواض الماء اللاهوائية. وعند تعرضها للهواء، تتحوّل هذه الصيغ المرجعة ببطء إلى أيون حديديك حديد غير مُذاب مرئي ومؤكسد (Fe^{+++}) وإلى المانغانيك منغنيز (Mn^{+++}). يعتمد معدّل الأكسدة على pH، والقلويّة والمحتوى العضوي ووجود العوامل المؤكسدة. وإن لم يزالا بالمعالجة فإن أكاسيد الحديد والمنغنيز ذات اللون البني تشكّل مظاهر لا جمالية وقد تتداخل مع بعض الاستخدامات المائيّة وتؤثر فيها.

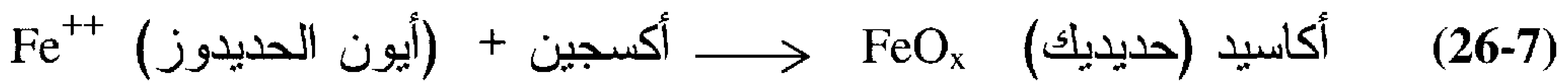
وقد تُستخدم في بعض الأحيان بعض الإجراءات الوقائية بنجاح معقول. فإن إضافة هيكساميتافوسفات الصوديوم، التي لا تمنع أكسدة أيونات المعادن إلا أنها قد تبقيها معلّقة، وبالتالي تتحرك ضمن النظام بدون أن تشكّل تراكمات يمكنها أن تسبب دورياً مياهاً ملوّنة بشكلٍ سيئ. ومن الصعب جداً التوقع نجاح هذه المعالجة، نظراً إلى أنها تعتمد على تراكيز الحديد والمغنزيوم، وعلى مستوى الكلور المتبقي المحدّد للتعقيم، وعلى زمن المرور عبر نظام التوزيع. والزمن بدوره يُقرّر بناءً على مدى اتساع نظام التوزيع، وعلى حجم الأنابيب في الشبكة، وعلى موقع وحجم أحواض التخزين.

يشجّع الحديد المُرجَع في المياه على نمو البكتيريا ذاتية التغذية في خطوط التوزيع الرئيسة (فقرة 3-1). وقد يكون الشطف الدوري لأنابيب التوزيع الصغيرة فعّالاً في إزالة تراكمات جسيمات الصدأ، ولكنّ إزالة بكتيريا الحديد عموماً صعبة ومكلفة. إن النمو الحيوي أمر كريه وغير مستحب خصوصاً عند تحلله في نظام شبكة الأنابيب مطلِقاً طعماً ورائحةً كريهتين. لقد كانت الكلورة الشديدة لمقاطع معزولة من

أنابيب المياه الرئيسة والتي أعقبها شطف، فاعلةً في معالجة بعض الحالات. ويبقى الحل الدائم فقط لمشاكل الحديد والمنغنيز هو إزالتهما عبر معالجة المياه.

التهوية، والترسيب، والترشيح

إن أبسط أشكال أكسدة الحديد في معالجة مياه الآبار هو التهوية ضمن أحواض. والمهوّي النموذجي من نمط الصينية له أنبوب رفع شاقولي يقوم بتوزيع المياه على سطح عدد من الصواني، تُقطّر المياه بعد ذلك وتتناثر نحو الأسفل عبر مجموعة الصواني التي تحوي بشكل متكرّر طبقات تماسٍ مع الحجارة أو فحم الكوك تعمل على توسيع وتعزيز تشكّل طبقات مُغلفة من الأكاسيد تقوم بتسريع تفاعلات الأكسدة.



Fe^{++} (أيون الحديدوز) + أكسجين ⟶ FeO_x أكاسيد (حديديك) **(26-7)**

حديد ذوّاب حديد غير ذوابة

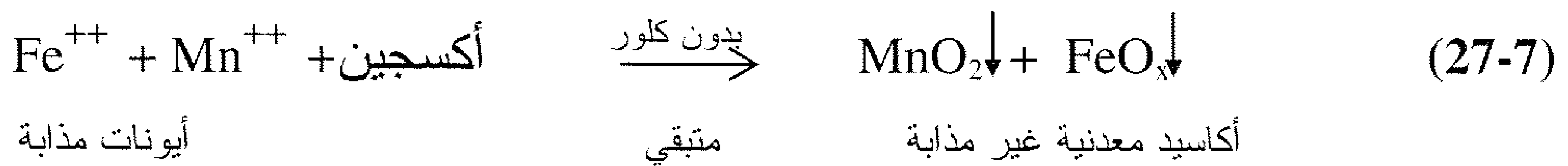
لا يمكن للمنغنيز أن يُؤكسد بسهولة أكسدة الحديد نفسه، وتكون عموماً التهوية ضمن أحواض غير فعّالة. وأحياناً يمكن لزيادة الـــ pH إلى 8.5 تقريباً مع وجود الجير أو رماد الصودا أن يُحسّن أكسدة المنغنيز على طبقات فحم الكوك المُغلّفة بأكاسيد المنغنيز، لكن الإزالة الكاملة للمنغنيز غير مضمونة.

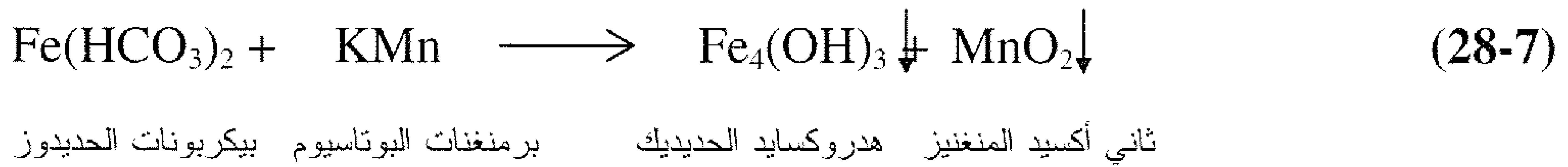
ويمكن لإزالة غير فعالة للمنغنيز أن تتسبب بمشاكل جدّية في ما بعد الكلورة لإيجاد متبقي كلور في نظام التوزيع. إذ إن المنغنيز الذي لم تتم إزالته بعيداً بعملية التهوية–الترشيح، قد يتأكسد في آلية حقن المُكلورِ الذي يغذي المحلول بالكلور مسبباً سدّ هذه الوحدة، أو في شبكة أنابيب التوزيع، حيث قد يتسبّب التأثير المؤكسد للكلور المتبقي بتشكّل مياه صدِئة.

التهوية، الأكسدة الكيميائيّة، الترسيب، والترشيح

إن سلسلة العمليات الموضحة هذه في الشكل (7-25أ)، هي الطريقة الشائعة لإزالة الحديد والمنغنيز من مياه الآبار بغير معالجة لإزالة العسرة. تقوم التهوية

الابتدائية بنزع الغازات المُذابة وإضافة الأكسجين. يُؤكسَد الحديد والمنغنيز كيميائياً بواسطة متبقي الكلور، المعادلة 7-27، أو بواسطة برمنغنات البوتاسيوم، المعادلات 7-28 و7-29، بمعدلات أكسدةٍ تتجاوز الأكسجين المُذاب. وعند استخدام الكلور، فإنه يتم الحفاظ على متبقي كلور حرّ مُتاح عبر كامل عمليات المعالجة. وتعتمد الجرعة المحدّدة المطلوبة على تركيز الأيونات المعدنية، pH، وشروط المزج، وعوامل أخرى. توجد برمنغنات البوتاسيوم، بشكل بلورات أو مسحوق بنفسجيٍّ داكن متوفر تجارياً بدرجة نقاء تصل إلى 97-99%. ونظرياً، يُؤكسِد 1 mg/l من برمنغنات البوتاسيوم 1.06 mg/l من الحديد أو 0.52 mg/l من المنغنيز. وفي التطبيق العملي، غالباً ما تكون الكمية المطلوبة أقلّ من المتطلب النظري. وقد تكون أكسدة البرمنغنات ذات مزايا لبعض أنواع المياه، نظراً إلى أن معدّل تفاعله مستقل عن الــ pH نسبياً.



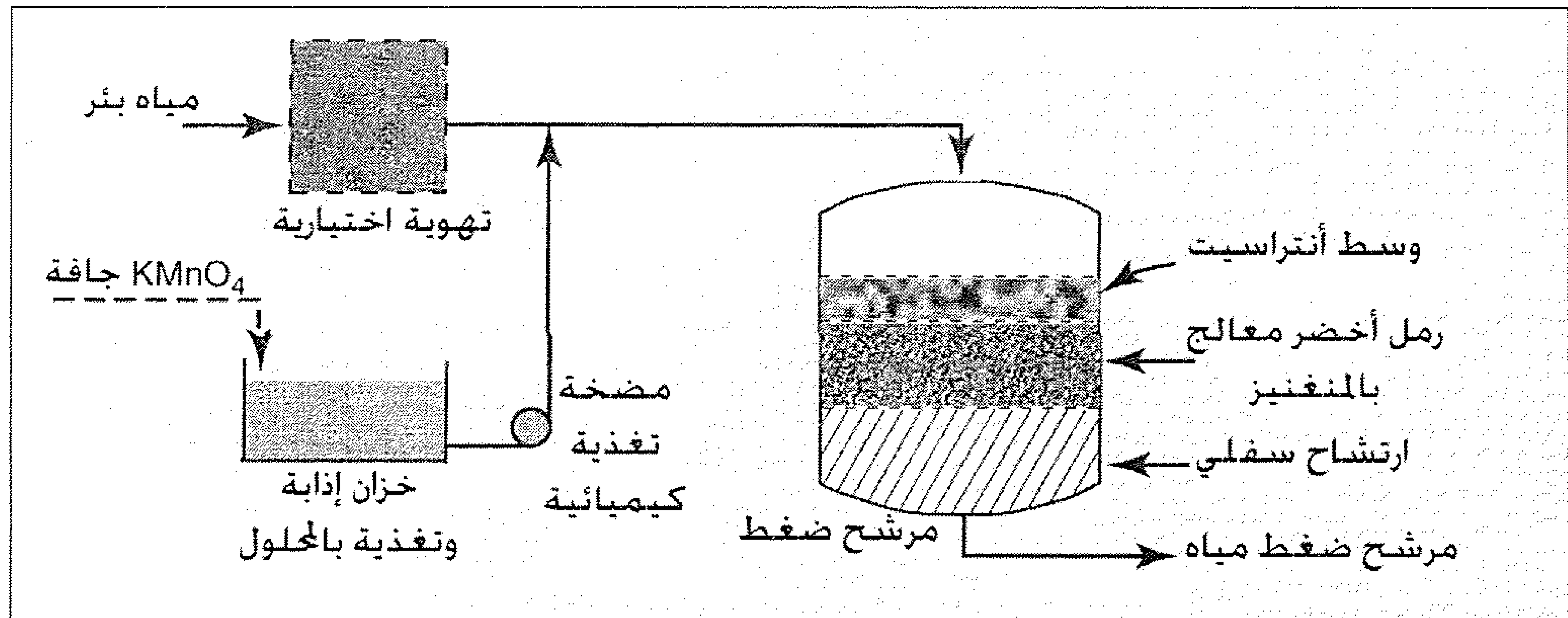




ومن الأساسيّ القيام بترشيح فاعل يعقب الأكسدة الكيميائيّة، نظراً إلى أن كمية معتبرةً من الأكاسيد المعدنية المتكدّرة ليست ثقيلة لدرجة كافية لأن تترسب بواسطة الثّقالة. يغلّف الحديد والمنغنيز المحمولان إلى المرشح، أوساط المرشح بأكاسيدهما والتي تحسّن الإزالة بالترشيح. لقد أظهر التطبيق العملي أن المرشحات الجديدة تمرّر المنغنيز إلى أن يغلّف الحُبيبات بأكسيدِه الذي يتطور طبيعياً خلال ترشيح مياه حاوية على المنغنيز.

عملية رمل المنغنيز الأخضر

رمل المنغنيز الأخضر رمل طبيعيّ مغلَّف بأكاسيد المنغنيز، يمكنه إزالة الحديد والمنغنيز المُذاب من المحلول. وبعد إشباع رمل المنغنيز الأخضر بالأيونات المعدنيّة، يمكن تجديده باستخدام برمنغنات البوتاسيوم. يظهر الشكل 7-31 نظام انسياب مستمرّ، حيث يدخل محلول البرمنغنات إلى الماء قبل مرشح الضغط والذي يحتوي على طبقة مزدوجة الوسط من الأنتراسيت ورمل المنغنيز الأخضر. تتم إزالة الحديد والمنغنيز المؤكسدين بتغذية البرمنغنات عبر الطبقة العلوية للمرشح، بينما يتم إمساك أيّ أيونات عبر الطبقة السفلية المكوّنة من رمل المنغنيز الأخضر. فإن أُضيف فائض من البرمنغنات بشكل غير مقصود إلى الماء فإنّها ستمر عبر وسط الفحم وتجدّد رمل المنغنيز الأخضر. وعندما تُشبع الطبقة بالأكاسيد المعدنية، يتم غسلُها بشكل مرتدّ لإزالة مادة الجسيمات المتأتية من الطبقة العلوية وكذلك لتجديد رمل المنغنيز الأخضر ببرمنغنات البوتاسيوم.



شكل 7-31: إزالة الحديد والمنغنيز من المياه الجوفية بعملية رمل المنغنيز الأخضر بتطبيق مرشح ضغط وسط مزدوج مع رمل أخضر معالج بالمنغنيز

7-19 استقرار الماء

يمكن للمياه الأكّالة أن تسبب إذابة الحديد محررة في المحلول أيونات يمكن أن تترسب على شكل أكاسيد حديديك، ما يتسبّب بحفر وتدرن السطح الداخلي لأنابيب

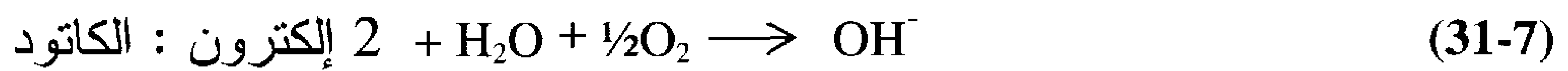
الحديد وخزانات الماء الفولاذية والذي يسبب في النهاية ثقب الأنبوب أو جدار الخزان. ويمكن لصمامات الإيقاف في شبكة أنابيب التوزيع أن تتوقف عن العمل بسبب التآكل وتشكّل القشور. وإضافة إلى الخسارة الاقتصاديّة، يمكن للتآكل الداخلي أن يقهقر نوعية مياه الشرب ومسبباً خطراً على صحة المستهلكين. وبينما يتسبّب الحديد المُذاب بتغير لوني غير مستحب جمالياً، فإن ذوبان الحديد من وصلات الخدمة وأنابيب الماء المنزلية خطر صحي جدي خصوصاً على الأطفال. وعلى نقيض الحديد فإن الرصاص ليس بملوث طبيعي ويندر وجوده في المياه الجوفية أو السطحيّة. ويعتبر الرصاص ناتجاً جانبياً للتآكل نظراً إلى إنه يذوب في الماء الأكّالة من أنابيب الرصاص ومن وصلات اللحام في الأنابيب النحاسية.

تآكل الحديد

عندما يوضع معدن فيروسي بتماس مع الماء، فإنه يتسبّب بتشكّل تيار كهربائيّ ناتج عن التفاعل بين سطوح المعدن والمواد الكيميائية الموجودة في الماء. تمثّل المعادلتان 7-30 و7-31 التفاعلات الرئيسة للمسريين، فعند الأنود ينحل الحديد في المحلول كأيون الحديدوز، وإذا وجد حديد ذوّاب لدى الكاتود فإن أيون الهيدروكسيد سوف يتشكل.



الأنود : $Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2$ إلكترون **(30-7)**



الكاتود : 2 إلكترون $+ H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow OH^-$ **(31-7)**

يتأكسد أيون الحديدوز (Fe^{++}) أكثر متحوّلاً إلى أيون الحديديك (Fe^{+++}) بوجود الأكسجين ويترسب على شكل هيدروكسيد الحديديك غير الذوّاب أو على شكل صدأ، المعادلة 7-32.



$$2Fe^{++} + 5H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow Fe(OH)_3\downarrow + OH^- \quad \textbf{(32-7)}$$

يتم التحكّم بمعدل التآكل من خلال التركيز ومعدل انتشار الأكسجين المُذاب إلى سطح الحديد. إن انتشار الأكسجين إلى الأنود محدود نوعاً ما بسبب وجود حاجز فيزيائي يتمثّل بتشكّل الصدأ على السطح. وحصيلة التآكل حفر وتقشر

السطح والذي يُشار إليها بتدرن الحديد (Tuberculation)، وتغير لون الماء، وانهيار محتمل للأنبوب.

إن أفضل طريقة لحماية أنبوب حديد لدن من التآكل الداخلي هو تبطين سطحه الداخلي بطبقة رقيقة من ملاط إسمنتي توضع في أثناء صنع الأنبوب. فضلاً عن بطانة الملاط الإسمنتي، يمكن المحافظة على غشاء رقيق من كربونات الكالسيوم عبر توازن الماء كيميائياً لحماية السطح الداخلي للأنبوب.

ويرتبط تشكّل الطبقة الواقية من كربونات الكالسيوم على السطح الداخلي للأنبوب بالتحكّم بالتفاعل الكيميائي الآتي:



$$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2 \qquad \textbf{(33-7)}$$

يحل ثاني أكسيد الكربون الحر الفائض $CaCO_3$، بينما يشكّل مقداراً أقل من توازن ثاني أكسيد الكربون قشوراً من الـــ $CaCO_3$. ولتوازن الماء، ينبغي أن يكون الـــ pH متفق مع توازن الكربونات – ثاني أكسيد الكربون لدى درجة حرارة مقاسة. وفي الممارسة العملية يُوصى بدرجة فوق إشباع محسوبة تتراوح بين 4 mg/l و10 mg/l من كربونات الكالسيوم وذلك في أثناء معالجة الماء لإزالة ثاني أكسيد الكربون العدواني الأكّال. ينبغي أن تكون قيم الكالسيوم والقلويّة الدنيا في مجال 40 mg/l إلى 70 mg/l بصورة CaCO، تبعاً لتراكيز باقي الأنيونات في المحلول. وأخيراً ينبغي أن تحوي المياه على كمية كافية من الأكسجين المُذاب تكون عادةً بين 4 mg/l و5، كي يُؤكسد هيدروكسيد الحديدوز غير المحمي إلى هيدروكسيد الحديديك، ليترسب هذا الأخير مع قشور كربونات الكالسيوم.

حماية الكاتود

حماية الكاتود هو وسيلة لمجابهة التآكل وذلك من خلال انحلال الحديد كم هو موضّح في المعادلة 7-30. وقد يستخدم في ذلك إما أنود غلفانّي يتم خسارته تدريجياً لكونه مكوّناً من معدن يقع في مرتبة أعلى في السلسلة الكهرحركية، أو أنود إلكتروليتي منشّط من مصدر خارجيٍّ لتيار مستمر قد يستخدم لحماية البنيات

المكوّنة من أيون الحديدوز. توفر أنودات التوتياء والمغنزيوم المغلفن فعلاً تجاه الحديد مكافئاً لفعل بطارية، من قبيل تآكلها وخسارتها تدريجياً، بينما يبقى الهيكل الحديدي المتصل بها محمياً من الذوبان. وهذا النمط من الأنظمة شائع في سخانات الماء الصغيرة.

ويُوفّر لبنى المنشآت المائيّة الكبرى المكوّنة من الفولاذ، وقايةً كاتودية باستخدام أنودات إلكتروليتية يتم جعلها أنيونية عبر تطبيق تيار مستمر. وقد تصنع الأنودات من عدّة معادن مختلفة، مثل خلائط الغرافيت، الكربون، البلاتين، الألمنيوم، الحديد أو الفولاذ. ويتم تنشيطها بوصلها بالطرف الموجب لإمداد طاقي لتيار مستمرٍ يكون عادةً مُعدّل تيار، بينما تكون البنية المراد حمايتها موصولة بالطرف السالب. يجذب التيار المتأثر، الإلكترونات إلى الحديد، مانعاً إياه من التأين وبالتالي من التآكل.

تستخدم الوقاية الكاتودية لمنع تآكل السطوح الداخلية للخزانات الفولاذية لتخزين الماء، بواسطة أنودات إلكتروليتية معلّقة في الماء المختزنة. وفي بعض الحالات تُستخدم أنودات غلفانّية بدلاً من، أو بالاتحاد مع، مُعدّل تيار وذلك تبعاً لظروف الخزان وللخصائص الكيميائية للمياه. تتم حماية الخزّانات المطمورة من التآكل الخارجي بوضع الأنودات في الأرض المحيطة بالخزان. وباستثناء الحالات غير الاعتيادية، لا تستخدم الأنظمة الكاتودية لوقاية أنابيب توزيع الماء نظراً إلى كلفتها العالية.

تآكل أنابيب ولحام الرصاص

إن المصادر الرئيسة للرصاص في مياه الصنبور هي لحام الرصاص المكوّن من الرصاص والتوتياء مناصفة، والمُستخدم في ربط أنابيب النحاس والوصلات المنحنية (أعناق الأوز) التي تُستخدم لربط خطوط الخدمة المصنوعة من الحديد المغلفن بأنابيب الماء الرئيسة. توجد أعلى تراكيز للرصاص في الماء التي تبقى

لبضعة ساعات بتماس اللحام أو أنابيب الرصاص في وصلات الخدمة، بينما يكون تركيز الرصاص في المياه المنسابة غير قابل للكشف. ولذلك فإنه يوصى بأخذ عينات صباحاً من أول دفقات مياه الأنابيب لمراقبة مدى الاستجابة لمستوى الملوّث الأعظمي المسموح به في مياه الشرب. لم تعد الوصلات المنحنية المصنوعة من الرصاص تُستخدم منذ عقود وتحديداً منذ إدخال الأنابيب النحاسية والأنابيب البلاستيكية لاحقاً لوصلات الخدمة. ومنذ عام 1986 غدا مطلوباً استخدام لحام خال من الرصاص في تركيب وتصليح أنابيب مياه الشرب. وعندما تتقادم وصلات لحام الرصاص، يتراجع معدّل انحلال الرصاص بصورة ملحوظة خلال خمس سنوات، وغالباً ما يتم استبدال وصلات أعناق الأوز القديمة. ولذلك فإن مشكل تلوّث مياه الصنبور بالرصاص تحل إلى حد ما بالتقادم الطبيعي لوصلات اللحام وباستبدال أنبوب الرصاص. إن البديل لإزالة الرصاص من خطوط أنابيب ووصلات الماء هو تخفيف أكالية الماء (Corrosivity of Water) بالمعالجة الكيميائيّة.

إن التحكّم بتآكل الرصاص أمر معقّد نظراً إلى أن التفاعلات الكيميائية المؤدّية لذلك قد فهمت فقط جزئياً، ولأن الخصائص الفيزيائيّة للسطوح الواقية غير معروفة تماماً، ولكون تأثير الفعل الغلفانّي المترافق مع الوصلات الملحومة غير واضح. ويبدو أن pH الماء عامل رئيس في تآكل الرصاص. ويظهر أن تشكّل أغشية السطوح الواقية المكوّنة من كربونات الرصاص (مثلاً، $PbCO_3$) والتي تعتمد على pH والقلويّة، عامل فاعل في تخفيف انحلال الرصاص. ويحتمل أن كربونات الكالسيوم التي تكون فعّالة في تخفيف انحلال الحديد، توفر فعّاليةً محدودة فقط، نظراً إلى أن قشورها غير مكتملة ومستمرة وتتقشر بشكل دوري، كاشفةً بالتالي اللحام وسطح أنبوب الرصاص. وبالرغم من ذلك، فإن كانت مياه بئر عسرةً غنية عادةً بالكالسيوم والمغنزيوم، فستبدي توصيلات الخدمة الحاوية على وصلات

رصاصية منحنية (رقاب الأوز) وأنابيب نحاسيّة رُبطت ببعضها البعض بواسطة لحام رصاص، تراكيز منخفضةً للرصاص في أول دفقات مياه.

لقد أظهرت معالجة الماء بإضافة الأورثوفوسفات انخفاضاً في انحلال الرصاص نتيجة تشكّل أغشية واقية مكوّنة من توضعات أورثوفوسفات الرصاص (مثلاً، $Pb(PO_4)_3OH$). وتعتمد فعّالية ومعدّل توضعها على تركيز الفوسفات، والقلويّة، وpH، ودرجة الحرارة. وبالرغم من بطء تشكلها، فقد أثبتت إضافة الأورثوفوسفات مع التحكّم بـــ pH، فعاليتها في الفحوص المخبريّة والميدانيّة. ولا تزال فعالية البولي فوسفات مثارَ جدل، والاختلافات الكيميائية بين الأورثوفوسفات والبولي فوسفات غير وضحة.

20-7 كلورة المياه الجوفيّة

تنصّ وثيقة مياه الشرب الأمنة (SDWA) على ما يأتي:

"... سينشر المدير المنتدب من EPA القوانين الأساسية الوطنية لمياه الشرب القاضية بتطبيق التعقيم كتقنية معالجة لكل أنظمة المياه العامة، بما فيها أنظمة المياه السطحيّة، وأنظمة المياه الجوفيّة، إن كان ذلك ضرورياً"[5].

إن الفئتين الأوليتين من الفئات الثلاث المحدّدة لمياه الشرب هما المياه السطحية والمياه الجوفية الواقعة تحت تأثير مباشر من المياه السطحيّة، وكلاهما خاضع لقوانين معالجة المياه السطحيّة. والنوع الثالث هو المياه الجوفية غير الخاضعة لتأثير مباشر من المياه السطحيّة، والتي يتم في الوقت الراهن تقييم مدى الحاجة إلى تعقيمها بناءً على المتطلبات المحلية ومتطلبات الولاية.

لا يتطلب قانون المياه الجوفية المقترح[6] من قبل EPA والذي نشر عام 2003، أن تُطبّق أنظمة المياه الجوفية تعقيماً. لقد عالج القانون المخاطر، من خلال مقاربة مكوّنة من حواجز متعدّدة تعتمد على خمسة مكوّنات رئيسة:

1. مسوحات صحيّة دوريّة لأنظمة المياه الجوفية تتطلّب تقييم ثمانية مكوّنات وتحديد الخلل أو القصور المعتبر.

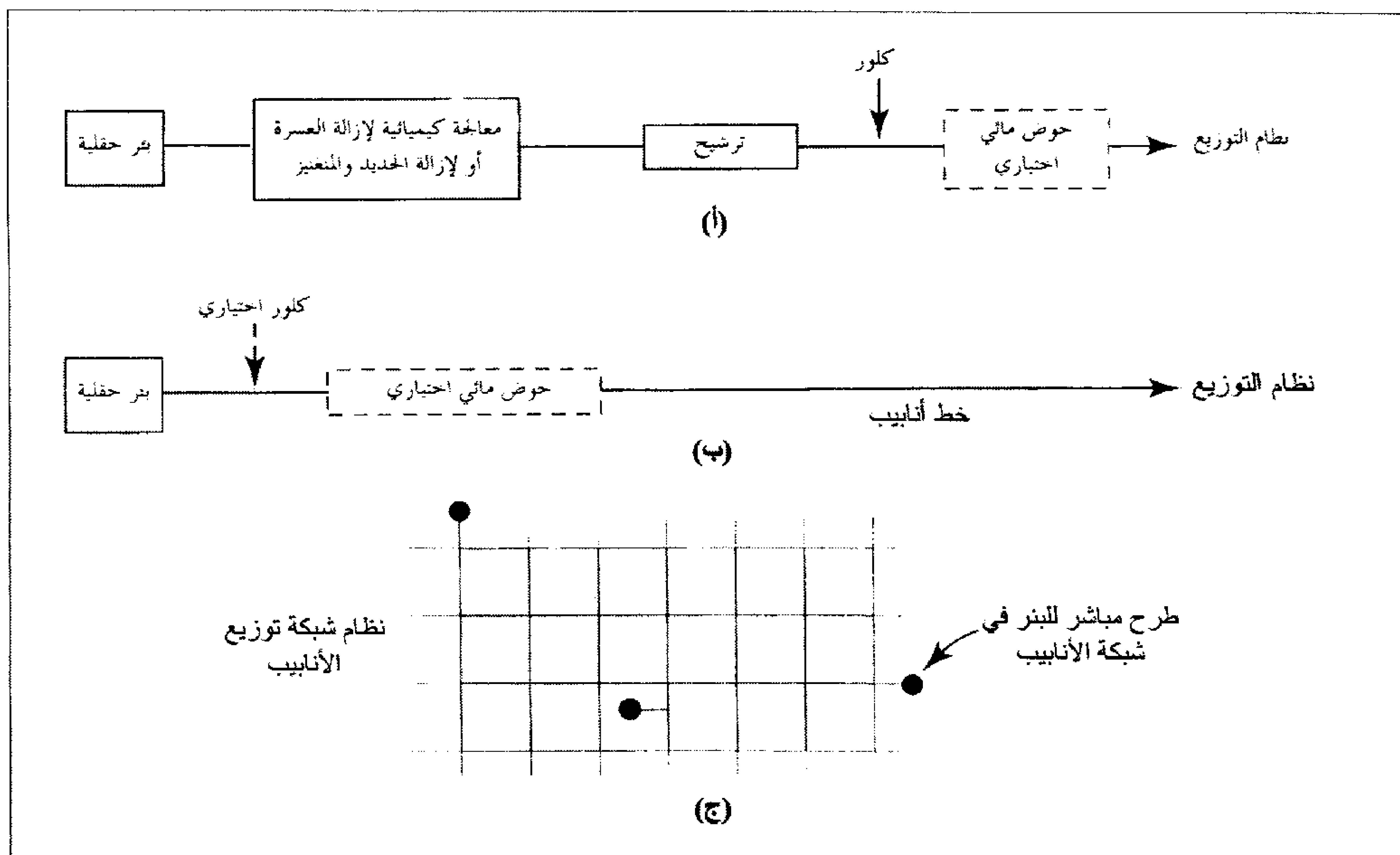
2. تقييمات للحساسية الهيدرولوجية لتحديد الآبار المتعرضة للتلوّث البرازي.

3. مراقبة مياه المصدر لأنظمة المياه التي تستجرّ مياهها من الآبار المتأثرة بالتلوّث دون معالجتها، أو مع ظهور مؤشراتٍ أخرى للخطر.

4. أفعال تصحيح الخلل أو القصور المعتبر والتلوّث البرازي (عبر استئصال مصدر التلوّث، تصحيح الخلل أو القصور المعتبر، تأمين مياه مصدر بديل، أو تأمين معالجة تصل إلى تعطيل قدره 99.99 (4 log) للفيروسات).

5. مراقبة الالتزام بضمان عمل معالجة التعقيم بشكل موثوق في المكان الذي تعمل فيه.

يظهر الشكل 7-32 أنظمة تجهيز بالمياه الجوفية الشائعة. ففي المخطط العلوي، تخضع المياه الجوفية لمعالجة كيميائية عبر إزالة العسرة أو إزالة الحديد والمنغنيز يعقبها ترشيح، ويمكن لأيّهما أن تعطّل الفيروسات. كما يمكن للكلورة اللاحقة أن تحسّن التعقيم وأن توجِدَ متبقي كلور في أنظمة التوزيع. فإن لم تكن المعالجة الكيميائية والترشيح ضروريان، فإنه يمكن أن يتم التجهيز بالمياه الجوفية من غير تعقيم إلى أنظمة التوزيع شريطة أن يكون حقل البئر محمياً من التلوّث البرازي. ولكن غالباً ما يضاف الكلور في التجمّعات الكبيرة لإيجاد متبقي كلور في نظام التوزيع (شكل 7-23ب). ويمكن لأنظمة الماء لتجمّع ما أن تتلقى أيضاً مياهاً جوفية من آبار منفردة موزّعة ضمن شبكة الأنابيب (شكل 7-23ج). وفي التجمّعات ذات الآبار المتناثرة، فإنه لا يمكن توحيد تصاريفها ضمن تجهيزٍ رئيس بالمياه بهدف المعالجة. إذ إن مثل إعادة البناء هذه تتطلّب تعطيلاً كاملاً لنظام التوزيع لكون أحجام أنابيب شبكته تكفي فقط لتوزيع مساهمات مائيّة متفرقة. ولكن يمكن إضافة الكلور في الآبار بشكل منفرد لإيجاد كلور متبق.



شكل 7-32: أنظمة شائعة للتجهيز بالمياه الجوفية (أ) مياه جوفية من بئر حقليّة عولجت كيميائياً لإزالة الحديد والمنغنيز، ثم رُشّحت وكُلورِت قبل توزيعها. (ب) مياه جوفية من بئر حقليّة لا تحتاج إلى معالجة تُضخ مباشرة إلى نظام التوزيع مع أو من دون كلورة. (ج) آبار مستقلة تضخ مياهاً جوفية مباشرة إلى نظام التوزيع مع أو من دون إضافة كلور

يحدث التعقيم الطبيعي للمياه الجوفية عبر الترشيح من خلال الترب السطحية بانسياب خطيٍّ بطيء عبر الحامل المائي. يزيل الترشيح عبر نطاق التهوية (ترب غير مشبعة فوق سطح المياه الجوفيّة) المُمرضات الكبيرة ككييسات الجيارديا وبيوض الكريبتوسبوروديوم. تُزال الفيروسات من خلال التعطيل عبر الزمن والامتزاز على حبّات التربة. أما البكتيريا فتُزال عبر كلتا العمليتين. وتُولى الفيروسات المعويّة اهتماماً أساسيّاً لصغر حجمها تحت المجهري. تتضمّن اختبارات وجود الفيروسات الممرضة بتراكيز منخفضة وتحديد أنواعها إجراءات معقّدة وصعبة. فضلاً عن ذلك لم يتم تحديد متعضيّة أو مادة حيويّة دالّة تؤكّد أو تنفي بوثوقيّة وجود الفيروسات المعويّة. تتضمّن قرائن تقييم عرض مدى جدارة التعقيم الطبيعي، ومسافة التأخر، والقسمات الهيدروجيولوجية، وزمن انتقال الجسيمات في المياه الجوفيّة، وزمن انتقال الفيروسات. إن العاملين الأولين هما

الأسهل تطبيقاً. ومسافة التأخر هي المسافة الأفقية الفاصلة بين البئر وأقرب مصدر محتمل للتلوّث الفيروسي، كمجارير الصرف الصحي، وحقل تصريف الحفر الصحيّة، أو حفر طرح النفايات. تعتمد المسافة المحدّدة على بيانات افتراضيّة وعلى خبرة مهنيّة أكثر من اعتمادها على تحليلات علميّة. وتتضمّن القسمات الهيدروجيولوجية العامة عمق غربال البئر تحت سطح الأرض، ثخانة النطاق غير المشبع العلوي، ووجود طبقات تحت سطحية كتيمة وحاصرة. وغالباً يمكن للبيانات الإنشائية والتشغيلية للبئر أن تحدّد هذه القسمات. بينما يكون تحديد أزمنة انتقال المياه الجوفية والملوّثات أصعب بكثير، وبالرغم من توفر نماذج حاسوبية لانسياب المياه الجوفيّة، إلا أنه من الصعب التحقّق من النتائج المحسوبة لموقع محدّد.

ومن النادر للغاية انتشار وباء منقول بالمياه يُعزى إلى مياه بئر ملوّثة تزوّد أنظمة مياه تجمّعات سكانيّة. ونتيجة لغياب حالات معتبرة لانتشار أمراض منقولة بالماء، اقتُرِحت نظرية مرض مزمن ناتج من تجهيز بالمياه العامة. (في هذا المفهوم المرض المزمن يعني وجود المرض بشكل ثابت بمستوىً معتبر مؤثراً بالتالي في عدد من الأفراد ضمن التجمّع لا إصابته أعداد كبيرة من الأشخاص، أيّ إنه ليس وبائي). غير إنه ما من دليل وبائيّ مُثبَت يشير إلى أن المياه الجوفية التي دخلت أنظمة التجهيز العام بالمياه دون معالجة تعقيم، مسؤولة عن انتشار الأمراض المزمنة المعديّة. إن كافة انتقالات الفيروسات المعوية تقريباً في الولايات المتحدة تتم بالانتقال من شخص إلى شخص، وبأدوات العدوى وبأيٍّ اتصال قريب آخر. إن أكثر الطرق فاعليةً في انتقال هذه الفيروسات هي رذاذُ عطسِ شخصٍ مصاب، أو إدخال الفيروسات إلى العين بفركها بأصبع ملوّث، مقارنة بانتقالها عبر الطعام.

غير أن تلوّثاً للمياه في أنابيب التوزيع قد حدث في أنظمة خدمة تجمّعات سكنيّة إمّا نتيجة تشغيل غير صحيح أو ترد فيزيائي. إن أفضل وقاية ضد التلوّث هو تطبيق برنامج مراقبة الوصلات العرضية لمنع الانسياب المرتدّ أو السَيفَنَة

المُرتدّة من وصلات الخدمة عالية الخطورة (مثل المستشفيات، ودور التمريض، وقاعات جثث الموتى)، وفرض مجموعة قوانين (Code) لأعمال السمكرة في الأبنية السكنيّة والتجاريّة والصناعيّة. وفي حالة وجود مخرج صرفٍ غير محميٍّ، أو وصلات سيّئة فإنه يتم منع السَيفَنَة المُرتدّة بالإبقاء على ضغط موجب مناسب في الخطوط الرئيسة للتجهيز بالمياه من خلال منع انعكاس الانسياب. إن خطر انعكاس الانسياب مستبعد في أنظمة المياه المُصمّمة والمشغّلة بشكل سليم. إن كلورة مياه بئر، ليست بديلاً لنظام مُحَافظ عليه بشكل جيد ومزوّد بوقاية من انسياب مرتدٍّ.

قد تضيف أنظمة المياه الجوفية التي لا تطبّق الترشيح، الكلور لإيجاد متبقي كلور في أنظمة التوزيع بنسبة 0.2 mg/l إلى 0.4. وبينما يحتمل أن يعطّل هذا المستوى من الكلور عدداً صغيراً من العضويات المجهرية في الانسياب المرتدّ للمياه الملوّثة الداخل إلى شبكة الأنابيب، يكون فعله التعقيميّ محدوداً جداً تجاه المتعضيات المجهريّة المقاومة. ويتم تعطيل البكتيريا القولونية بقيم $C\ .\ t$ للكلور الحر تقلّ عن 0.1 (mg/l). دقيقة، غير أن معظم الفيروسات ذات مقاومة تبلغ أضعافاً كثيرة، فكييسات الابتدائيات مقاومة إلى حد بعيد، لذا تتطلّب قيم $C\ .\ t$ عالية للغاية. ومن الصعب جداً تقدير درجة الوقاية الصحيّة عبر توفير متبقي كلور والمحافظة عليه في نظام توزيع مياه جوفيّة. إن وجود متبقي الكلور في أنظمة المياه السطحية هام جداً لكبح نمو أنواع عديدة من البكتيريا متعدية التغذية التي تنجو من المعالجة وتعاود النمو في شبكة الأنابيب. وإن كانت الماء في جزء من النظام ملوّثة بـــ 0.1% فقط من مياه الصرف الحاوية على تراكيز ضئيلة من المُمرضات البكتيرية والفيروسية، فمتبقي كلور قدره بين 0.2 mg/l و0.4 سيوفّر بعض الوقاية. لا يضمن هذا المتبقي وقاية إن كانت نسبة مياه الصرف أكبر أو إذا كان تركيز العناصر الممرضة عالياً. ويستطيع احتياج مياه الصرف إلى الكلور أن يحيد بسرعة، متبقي الكلور متيحاً الفرصة للمُمرضات للنجاة.

إن السيئة الرئيسة للكلور المتبقي لمياه جوفية غير ملوّثة داخلة إلى نظام توزيع هي التداخل مع اختبار القولونيات كمؤشر للتلوّث البرازي الداخل إلى النظام. فإن كانت المياه غير مكلورة، فإن وجود القولونيات نذيرُ تلوّث انسياب مرتدّ محتمل. وبالعكس من ذلك، إن كان التجهيز حاوياً متبقي كلور، فيمكن للقولونيات أن تعطّل دون أن تشير إلى وجود معظم الفيروسات العنيدة وكييسات الابتدائيات. وقد لا يكتشف موظفو مصلحة المياه على الفور أن مستوى منخفضاً من التلوّث جار حدوثه بسبب انسياب مرتدٍّ في ظلّ غياب فحوص تكشف وجود قولونيات.

مثال 7-18

تطلب الأمر تعقيم مياه جوفية مستجرة من حقل بئر لتعطيل الفيروسات بنسبة 99.9% (3.0 log). إن وجود نهر مجاور يعيد تغذية البئر لا يوفّر تعقيماً طبيعياً مناسباً، وذلك استناداً إلى تقييم الموقع من قبل سلطة الولاية. يبعد خطّ النقل الرئيس القادم من حقل البئر إلى أول مستهلك نحو 2.0 mi، وتبلغ سرعة الانسياب عند سعة ضخ قصوى 3.0 ft/sec تحت درجة حرارة قدرها $5^{\circ}C$، وقيمة pH قدرها 7.5. فإن أضيف الكلور إلى حقل البئر، هل سيكون التعقيم مناسباً قبل وصول المياه إلى أول مستهلك؟

الحل

من الجدول 7-5 في الفقرة 7-15، يلاحظ أن قيمة $C \cdot t$ من أجل 3.0 log لتعطيل الفيروسات بالكلور الحرّ تحت درجة حرارة قدرها $5^{\circ}C$، تساوي 6. وزمن المرور في أنبوب النقل يساوي:

$$\frac{2.0 \text{ mi} \times 5280 \text{ ft/mi}}{3.0 \text{ ft/sec} \times 60 \text{ sec/min}} = 57 \text{ min}$$

$$C = \frac{6\,(\text{mg/l}).\text{min}}{57\,\text{min}} = 0.11 \text{ mg/l}$$

ولكن إن طلبت سلطة الولاية أن تحتوي الماء الداخلة إلى نظام التوزيع على متبقي كلور قدره 0.2 mg/l، فإن جرعة الكلور يجب أن تزداد. وستساوي $C . t$ الفعليّة 0.2 mg/l x 57 min أيّ تساوي min .(mg/l) 11. والتي ستكون أكثر من أن تكون ملائمة لـــ (4.0 log) تعطيل فيروسات بنسبة 99.99%.

21-7 التبادل الأيوني

في عملية التبادل الأيوني، سيقوم صمغ غير ذوّاب بإزالة الأيونات الموجبة والسالبة من المحلول وسيحرّر شحنات مكافئة في المحلول بدون إحداث تغييرات بنيويّة في الصمغ. وكي تتمّ عملية التبادل ينبغي أن يتم تأيين الأملاح لتنفصل إلى كاتيونات موجبة أو أنيونات سالبة. وأصماغ التبادل بوليميرات بشكل كريّات صغيرة تتراوح أقطارها بين 0.3 mm و1.2 ذات ثقالة نسبية تتراوح بين 1.3 و1.4.

ويمكن استخدام أصماغ التبادل الأيوني لإزالة أنيونات محدّدة كالنترات، والفلور والزرنيخ وملوّثات أو كاتيونات أخرى كالكالسيوم والمغنزيوم. وتتكون حلقة التشغيل لطبقة ثابتة نموذجيّة من الخطوات الأربعة التالية:

- حلقة تشغيل تمرّ فيها مياه التغذية إلى الأسفل عبر طبقة صمغ تخضع فيها إلى تفاعل التبادل،
- غسيلٍ مرتدّ منساب للأعلى مع مياهٍ ناتجة تمكّن من تجديد الصمغ،
- انسياب المياه المالحة نحو الأسفل لتجديدها، وبالتالي لتزيح الأيونات المتبادلة، من الصمغ،
- غسل صمغ التبادل الأيوني، لإزالة المياه الفائضة المولَّدة إلى الصرف.

إزالة العسرة بالتبادل الأيوني

تستخدم هذه العملية في مزيلات العسرة في المناطق السكنية والتجارية وذلك لتخفيف العسرة لتفي بالتجهيز بالمياه العامة. وتمثل المعادلة 7-34 التفاعل الذي يتم

فيها، حيث تمثّل R المكوّن الأنيوني للصمغ. يُمتز الكالسيوم والمغنزيوم فتتحلّ من الصمغ كمية مكافئةً من الصوديوم في المحلول. وعندما يُعاد تجديد الطبقة المستنزفة، يحدث تبادل معكوس. وكما هو موضّح في الشكل 7-35، يقوم محلول كلوريد صوديوم قويٌّ محلّ أنيونات العسرة ثنائية التكافؤ ويُعاد تجديدُ الصمغِ بالصوديوم

$$+ \quad Na_2R \longrightarrow \qquad Na^+ \qquad \textbf{(34-7)}$$



$$\begin{matrix} CaR \\ MgR \end{matrix} + NaCl \xrightarrow[NaCl]{\text{فائض}} Na_2R + \begin{matrix} Ca^{++} \\ Mg^{++} \end{matrix} \qquad \textbf{(35-7)}$$

وسيكون في مخطط الأعمدة عدد الميليمكافئات لمياه أُزيلت عسرتُها بالتبادل الكاتيوني مساوياً لعدد الميليمكافئات للمياه الخام، حيث استبدلت كافة أيونات Ca^{++} وMg^{++} بأيون Na^{++}

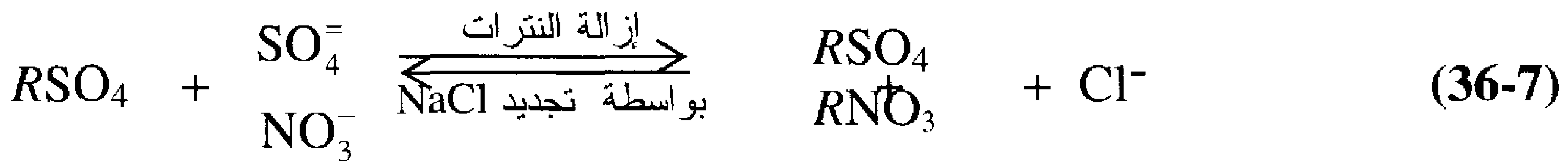
وينبغي على مالكي المنازل المجهّزة بمزيل عسرة مياه بواسطة التبادل الأيوني، أن ينتبهوا إلى أن تركيز الصوديوم في المياه المُزالة عسرتُها يتناسب طرداً مع أيونات العسرة التي أُزيلت. وفي بعض التركيبات المنزلية، يُركّب في المطبخ صنبور مستقل لمياه الشرب، يتفادى المرور بمزيل العسرة. أو يعالج مزيل العسرة تجهيزات المياه الساخنة فقط إن كان ذلك ممكناً، بحيث توصل كافة صنابير واستخدامات المياه الباردة بالتجهيزات بالمياه العامة.

إن التركيز الأقصى بالصوديوم في مياه الشرب لأشخاص يتبعون حميةً تجاه الصوديوم فقط والذي يكون عادةً نحو 2000 mg صوديوم باليوم هو 100 mg/l. وإذا كانت الحمية أشدّ فسيكون التركيز الأعظمي 500 mg صوديوم باليوم، والحد الأقصى الذي توصي به رابطة القلب الأمريكية هو 20 mg/l من الصوديوم. تنتج إزالة العسرة بالتبادل الكاتيوني لمياه تبلغ عسرتها 218 mg/l في مزيل عسرة منزلي، مياهاً تحوي 100 mg/l من الصوديوم. إن إزالة عسرة مياه قساوتها 43 mg/l ستنتج مياهاً تحوي 20 mg/l من الصوديوم.

7-22 التبادل الأنيوني لإزالة النترات

إن أكثر المبادلات فاعليةً لإزالة النترات هي الأصماغ الأساسية القوية التي يُشار إليها غالباً بأصماغ النترات "الانتقائية"، نظراً إلى أنها أقلُّ انتقائيّةً للأنيونات متعدّدة التكافؤات كالكبريتات[7]. وبسبب هذه الخصيصة، فحتى لو كانت أنيونات الكبريتات ممتزة، فإن امتزاز الكبريتات لن يتسبّب بازدياد كميات النترات في حال استنزِفت الأصماغ كما هو حال الأصماغ العادية. وكلورايد الصوديوم فاعل في تجديد كلا النوعين من الأصماغ الانتقائيّة والعاديّة.

وتظهر المعادلة 7-36 تفاعلات إزالة وتجديد النترات.

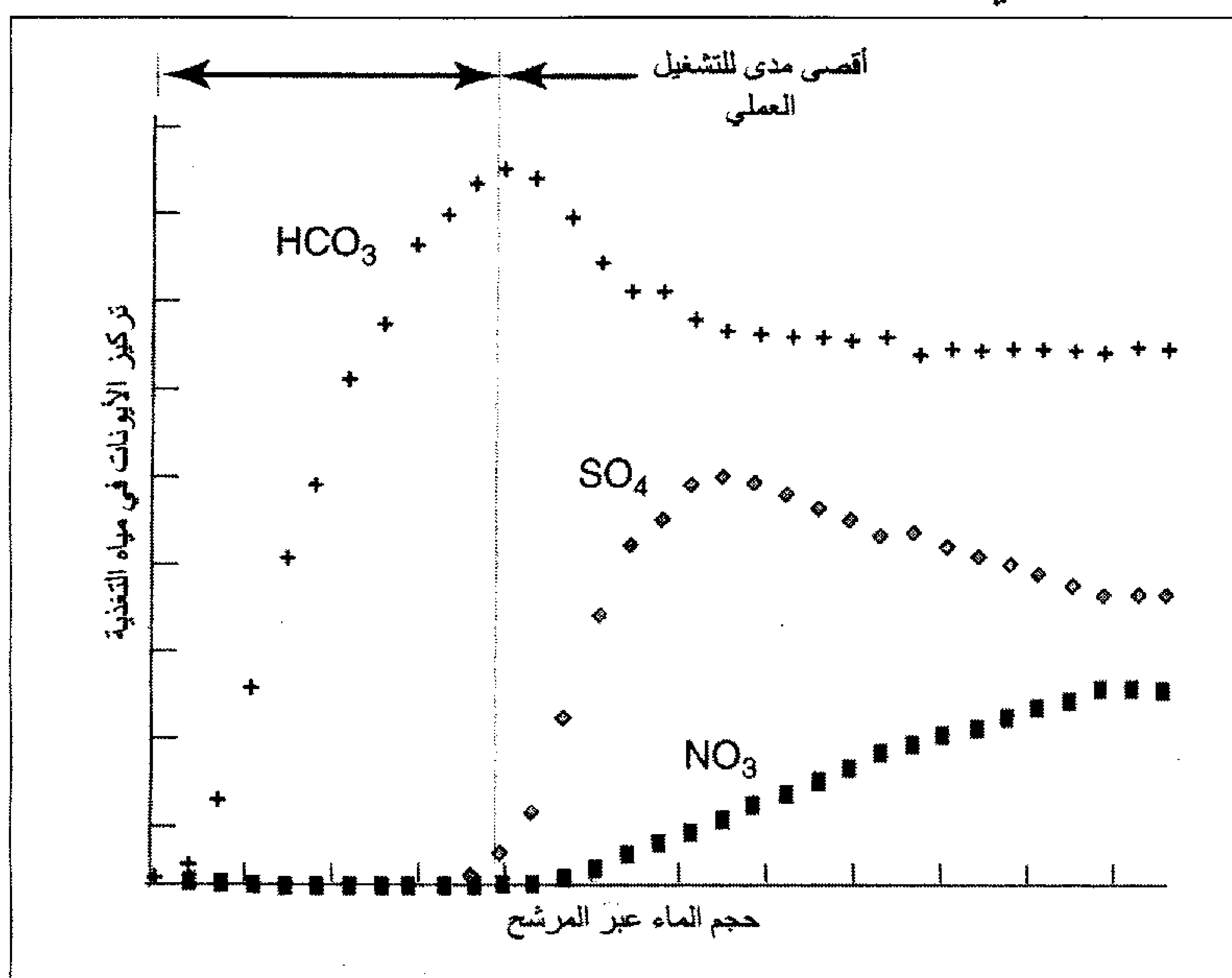


$$RSO_4 \;+\; \begin{matrix} SO_4^{=} \\ NO_3^{-} \end{matrix} \;\underset{\text{بواسطة تجديد NaCl}}{\overset{\text{إزالة النترات}}{\rightleftharpoons}}\; \begin{matrix} RSO_4 \\ RNO_3 \end{matrix} \;+\; Cl^{-} \qquad \textbf{(36-7)}$$

وطبقة الصمغ هذه عرضة للانسداد وفقدان الكفاءة نتيجة التوضعات الفلزية، والدقائق الصغيرة، وبالنمو البكتيري. لذا فإن المياه المُعالَجة يجب أن تخلو من الطميّ والحديد والمنغنيز وأن تكون غير مرسِّبة للقشور. فإن أصيبت طبقة من الطبقات بالملوّثات، فإن غسلها بغسيل مرتدّ غير مجد نظراً إلى أن الرمل والأكاسيد المعدنية ومعظم الملوّثات الأخرى ذات مقاومة شديدة للسيلان مقارنةً بالاصماغ. يتسبّب تقادم الأصماغ الأساسية القوية، بتناقص سعة التبادل وتزايد التسرب نظراً إلى أن مواقع التبادل على طبقات الأصماغ تتحوّل من أساسية قويّة إلى مزيج من مواقع أساسية ضعيفة وقويّة. ينبغي أن يكون عمر الأصماغ بضعة سنين، والعوامل التي تتحكّم به هي نوع ونمط الصمغ، والخصائص الكيميائية للمياه المعالجة، ودرجة حرارة التشغيل، ودرجة حرارة التجديد، ومستوى التجديد (الملح المُضاف لواحدة الحجوم من الطبقة، ومعدّل التغذية بالماء، وعمق الطبقة.

يظهر الشكل 7-33 منحنيات اختراق تصويرية لصمغ انتقائي لأيون النترات خلال الترشيح، تظهر تراكيز أنيونات البيكربونات، والكبريتات، والنترات في مياه

التغذية على الحافة اليمنى للمخطط، حيث تخترق كافة الأنيونات الطبقة. يُزال أنيون الكبريتات قبل أيّ أنيون آخر.

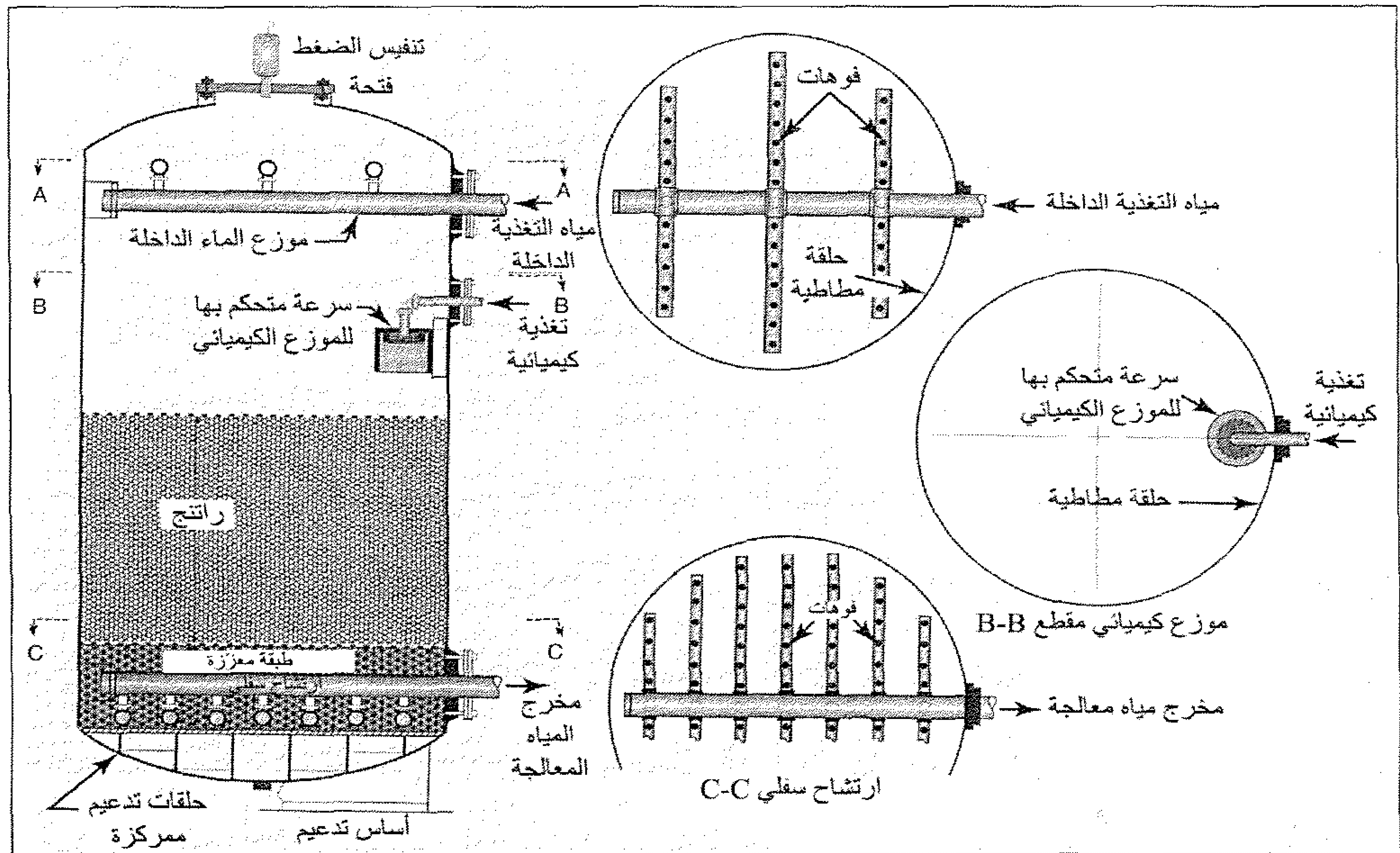


شكل 7-33: منحنيات فصل نموذجيّة لصمغ انتقائي للنترات. يزداد تركيز الأيونات في مياه التغذية مع زيادة حجم المياه المعالجة

ويُزال أنيون البيكربونات ابتداءً ويزداد ببطء في التسريب عبر طبقة الصمغ حتى لا يبدي التركيز أيّ اختلاف عن مياه التغذية. تتسرب النترات بشكل مستمرّ من طبقة الصمغ بتركيز منخفض جداً عبر الترشيح الأولي. وبعد استنزاف بدايات الطبقة يزداد تسرب كلّ من الكبريتات والنترات. ويمتد مجال التشغيل العملي الأعظمي من لحظة بدء الترشيح حتى لحظة التسرب هذه.

يتألف الترتيب الشائع لمحطة إزالة نترات تعالج مياهاً جوفية مسحوبة من عدّة آبار، من ثلاث حاويات تبادل أيوني، خزان ماء NaCl مالح للتجديد، خزان لحفظ الماء المالح المستنزف وماء الغسيل المرتد، وأنابيب للترشيح وللتجديد. يظهر الشكل 7-34 مقطعاً لحاوية ضغط نموذجيّة للتبادل الأيوني تسمح بضخ مباشر عبر المبادلات إلى شبكة أنابيب توزيع مياه المدينة مع سعة تخزينيّة. تدخل الماء المغذية

إلى حاويات التشغيل من أعلاها موزع فتحة دخول، ويمر إلى الأسفل عبر طبقات الصمغ ويغادر بارتشاح سفلي عبر عدّة وحدات أسفل الحاويات. يصل عمق طبقات الصمغ إلى 2-5 ft مدعّمةً بطبقات ارتشاح سفلي. ويتحدد عمق محطة بعينها من خلال فقد العلوّ المسموح عبر الطبقات، ومن خلال عمق الطبقة المتمدّدة في أثناء الغسيل المرتدّ، والذي يصل من 50% إلى 75%. تعمل الحاويات الثلاث بتعاقب دوريٍّ بحيث تكون وحدتان دوماً في الخدمة. ويوفّر هذا الأمر تمتّع المياه المعالجة بخصائص كيميائية متجانسة، حيث تكون وحدة المؤخرة للمياه المعالجة في النصف الأول من عملية التشغيل، ووحدة المقدمة للمياه المعالجة في النصف الثاني من مجال التشغيل. إضافة إلى ذلك فإن ثلاث حاويات ضرورية في حال سحب إحدى المحطات من الخدمة لتصليحها. وحيث إن تركيز نترات – نتروجين قد خفض إلى 1-2 mg/l، أيّ أقل بكثير من مستوى التلوّث الأعظميّ المسموح به، فإنه يتم مزج المياه المعالجة مع مياه غير معالجة قبل طرحها في نظام التوزيع.



شكل 7-34: مقطع لوعاء تبادل أيوني نموذجي

تتكون دورة التجديد من ثلاث مراحل: ملء طبقة الصمغ بمياه مالحة. وشطفها ببطء، وغسلها غسيلاً مرتداً. وبعد خروج الحاوية من الخدمة، يتم تخفيف المياه المالحة وضخّها إلى وعاء التبادل عبر الموزع الكيميائي الواقع فوق طبقة الصمغ. يبلغ حجم الجرعة مرة ونصف حجم الطبقة. إن انسياب المياه المالحة نحو الأسفل الممزوج مزجاً محدوداً مع الماء في الحاوية الموجود فوق الطبقة، يخرج بالارتشاح السفلي عبر وحدات متعدّدة إلى التصريف.

تدخل مياه الشطف البطيء، والتي هي مياه معالجة، الحاوية من أعلاها وذلك عبر الموزع نفسه الذي يدخل منه التجهيز بالمياه غير المعالجة في أثناء الترشيح. وتخرج عبر الارتشاح السفلي إلى التصريف.

يبدأ الغسيل المرتد بانسياب المياه المعالجة للأعلى من خلال نصف وحدات الارتشاح السفلي الواقعة على طرف واحد، وبعد استراحة قصيرة تسمح باستقرار الصمغ. يتم تطبيق الخطوات نفسها عبر النصف الآخر لوحدات الارتشاح السفلي ولمرة ثانية عبر النصف الأول للوحدات. تخرج مياه الغسيل من خلال فوهة موزع المدخل في أعلى الخزان.

إن تقنية الغسيل المرتدّ هذه تعرّض طبقة الصمغ، كما تمنع حُبيبات الصمغ من أن تتوضّع في طبقات منضّدة تكون فيها الحُبيبات الأصغر في الأعلى والحُبيبات الأكبر في الأسفل. فإن سُمح لمثل هذا التطبّق بالحدوث عدّة مرّات بعد الغسيل المرتد فإن الحُبيبات الكبيرة في الأسفل سوف تبقى بصيغة النترات بعد تجديد الطبقة وتتسبب بتزايد النترات في المياه الناتجة عند إعادة الطبقة إلى الخدمة.

تنساب مياه الصرف عادةً بنسبة تبلغ بمجوعها 3% إلى 4% من المياه المعالجة عبر طبقات الصمغ، والتي تساوي 50% من مياه الشطف، و35% من مياه الغسيل

المرتد، و15% من المياه المالحة المخففة. تبلغ كمية كلوريد الصوديوم للتجديد عموماً 3-4 lb/1000 gal من المياه المعالجة بالصمغ.

إن خيارات طرح مياه الصرف هي تصريفها في المجارير الصحية، واستخدامها في الأرض، وتصريفها إلى برك تبخر، أو ضخها إلى آبار حقن عميقة. والمساوئ الرئيسة لمعالجة التبادل الأنيوني لإزالة النترات هي تكاليف التشغيل المرتفعة، وطرح مياه الصرف المالحة.

23-7 إزالة الزرنيخ

لقد خُفّض مستوى التلوّث الأقصى (Maximum Contaminant Level) بالزرنيخ المُقر من قبل EPA من 50 µ/l إلى 10 µ/l. يوجد الزرنيخ بشكل واسع في قشرة الأرض بصورة معقّدات غير مُذابة مع الحديد والكباريت، وبصورة زرنيخ ذوّاب في الماء نتيجة تجوية الصخور وحرق الوقود المستحاثي، وأفران صهر الخامات ومن الصناعة. لكن بالنسبة إلى معظم الناس فإن التعرض الأكثر أهميّة للزرنيخ هو عبر الغذاء. وبالرغم من وجود الزرنيخ في بعض المياه السطحية والتي غالباً ما تكون مياه صرف المناجم، إلا أن مصادر مياه الشرب الرئيسة هي المياه الجوفيّة. ويوجد الزرنيخ بصيغة مُذابة وبصورة أساسية كالزرنيخيت (AsO_3) والزرنيخات (AsO_4). وفي المياه الجوفية المنزوعة الأكسجين، فإن ما نسبته 20% إلى 50% من الزرنيخ الكلّي يكون من أنواع الزرنيخيت.

تتضمن خيارات الالتزام بحدود الزرنيخ التحول إلى مصدر مياه سطحية ذي محتوى زرنيخ منخفض، ومزج مياه جوفية موجودة متنوعة مسحوبة من عدة آبار أو من حقول آبار جديدة، وإزالة الزرنيخ بواسطة المعالجة. إن أكثر تقنيات المعالجة الواسعة النطاق هي التخثر والترشيح، وإزالة الحديد، وإزالة عسرة الجير. إن الحاجة الملحة هي الحاجة إلى تقنيات جديدة، مثل أصماغ التبادل الأنيوني لتجمّعات صغيرة

ذات عدة آبار منفردة تقوم بتجهيز أنظمتها بالمياه. وستكون الأعباء المالية أعظمية لتجمّعات آبارها الملوّثة بالزرنيخ الموزعة ضمن شبكة الأنابيب. فإن كانت عمليات معالجة المياه الجوفية منفردةً غير ممكنة، فإن الحل البديل هو القيام بتغييرات أساسية في شبكة الأنابيب لإيصال التجهيزات بمياه الآبار المنفردة إلى موقع مشترك للتمكن من معالجتها ومن ثم توزيع المياه المعالجة. يزداد تطور التقنيات الجديدة سريعاً. والمقاربة الحكيمة لتجمّع ما هي استعراض حريص للخيارات عند توفرها والأخذ بالاعتبار دراسات المحطات التجريبية المحلية، نظراً إلى أن المحتوى المعدنيّ لكل مصدر مائيٍّ فريد. ويمكن لأيّ تقنية موجودة حالياً أن تُطور أو أن تتقادم وتُهجر. وهناك عمليات ممكنة لإزالة الزرنيخ هي امتزاز الألومينا المنشطة، الترشيح بالرمل المغلف بأكاسيد الحديد، والتناضح العكسي/بلا ترشيح.

يمكن لأشكال الزرنيخ المُنحلة أن تُزال بواسطة أصماغ تبادل أنيوني أساسية قوية. ومن الضروري القيام بمعالجة مسبقة صحيحة لضمان تأكسد كل الزرنيخ إلى صيغة الزرنيخات، ويتم ذلك عبر الأكسدة بالكلور.

ويمكن تجديد أصماغ التبادل الأنيوني الأساسية بخطوة واحدة بواسطة مياه مملّحة بملح شائع. ولكن الأصماغ الأنيوية تميل إلى تفضيل مبادلة الكبريتات على مبادلة الزرنيخ، لذا قد لا تكون هذه العملية مناسبةً للأنظمة الصغيرة غير المراقبة. تتداخل الكبريتات، إن كان وجودها بمستويات مرتفعة، وتعيق كفاءة إزالة الزرنيخ مهما كانت صيغته، وذلك نظراً إلى أن أيون الكبريتات يُزال إلى جانب الزرنيخ وبالتالي فإنه يزيد الحمولة التبادلية. كما إنه هناك أمر آخر يدعو إلى القلق في التبادل الأيوني وهو خيارات طرح مياه الصرف المالحة والتي يقتصر طرحها في استخدامات الأرض وملء حفر معدّة لذلك.

تحتوي كثير من أنظمة المياه الجوفية العامّة الصغيرة، وخصوصاً في الولايات المتحدة على تراكيز زرنيخ أعلى من 10 µ/l. وعادة لا يتوفّر لتجمّعات

سكانية صغيرة، والتي غالباً ما يكون معظم سكانها من كبار السن، وتعاني آبارها التلوّث بالزرنيخ، أيّ مصادر ماليّة لتركيب أنظمة معالجة امتزاز/ امتصاص معقدة، أو لتوظيف كوادر تشغيل وصيانة، لقد دفعت الحاجة إلى تخفيض الـ MCL للزرنيخ في أنظمة التجهيز بالمياه هذه، EPA إلى إحياء استثناءات وتأجيل التزام الأنظمة الصغيرة وذلك تبعاً لتوفر القدرة على الالتزام بالمعايير. وتشجع EPA الولايات على المصادقة على استثناءات الزرنيخ للأنظمة غير القادرة على الإيفاء بمعايير الزرنيج الجديدة. لقد منحت بعض الولايات المبادرة، استثناءات لقانون الزرنيخ والتي تعطي فترات سماح لمدة 9 سنوات إضافية للأنظمة التي تقل عن 3300 شخص، تتعهد بعدها بالالتزام. كما إن EPA تعيد النظر في إيجاد تفاوتات ضمن الأنظمة الصغيرة، من أجل أنظمة تخدم 10000 شخص، وذاك للسماح بتركيب أنظمة معالجة ممكن شراؤها لكنها غير قادرة على تلبية معيار MCL البالغ 10 μ/l.

يجب إعداد معايير قدرة تحمل تفاوتات الزرنيخ بتوجه عام يبلغ فيه الحدّ الأقصى للزرنيخ ثلاثة أمثال معيار MCL أيّ 30 μ/l، يبقى ضمن مجال الأمان الذي يعكس عوامل اللاوثوقيّة، وهوامش الأمان التي أخذت بالاعتبار في أثناء وضع معيار MCL البالغ 10 μ/l. علاوةً على ذلك فإنه من المحتمل أن يتم توسيع وثيقة مياه الشرب الآمنة لتجيز التفاوتات في الأنظمة الصغيرة لملوّثات أخرى ذات قيم MCL منخفضة من الصعب الإيفاء بها. وسيكون من المطلوب إيجاد قوانين جديدة لتحديد تقنيات تفاوت "الممكن المتاح" لأنظمة تخدم 10000 نسمة أو أقل. بل سيكون مطلوباً من EPA اتخاذ قرار حاسم بتحديد تقنيات تفاوت محددة، التي ستكون "واقية للصحة العامة"، ومما يثير القلق في إدخال EPA لمعايير الإمكانية والسماح بالتفاوتات هو أن ذلك سوف يؤدي إلى الترخيص بوجود بنية مجتمع بطابقين، يتلقى وفقه طابق التجمّعات الأفقر مياهاً أدنى نوعية ممّا حددته MCLs.

24-7 إزالة الفلورة

ينبغي للتجمّعات التي تتلقى تجهيزاً بمياه يتجاوز فيها محتوى الفلور، 5 mg/l إما أن تركّب مرافق إزالة الفلورة أو أن تتحوّل إلى مصدر مائيٍّ أقل احتواءً للفلور. وبالرغم من أن قِلةً من محطات المعالجة قد بنيت، إلا أن تقنية المعالجة المفضلة هي الترشيح بواسطة ألومينا حُبيبية منشطة، والتي تعتبر ممتزاً لاعضوياً نصف مبلور[7]. إن إزالة الفلورة بالألومينا المنشّطة مشابهة لعملية التبادل الأيوني، غير أنها أكثر تعقيداً. وتتضمّن العملية أربع مراحل: معالجةً، وغسيلاً مرتداً، وتجديداً، وتحييداً. ولإزالة الفلور، يتم تجديد الألومينا المنشطة بمحلول قويٍّ من NaOH، بحيث تصبح الطبقة بكاملها في مجال pH يتراوح بين 12.5 و13 نتيجة محلول الصود الكاوي هذا والذي يقوم بدور التجديد. ينتج من تجديد طبقة مستنزفة غسيل مرتدٌّ مع مياه خام تتسبب بتمدّد الطبقة، وتجديد بانسياب للأعلى حاوٍ على 1% NaOH، وانسياب للأسفل نهائي.

تتأثر إزالة الفلور بشدّة بدرجة pH، وتكون إزالة الفلور نموذجيّة عند قيمة pH قدرها 5. يتم تحييد الطبقة بعد تجديدها بمحلول الصود الكاوي، عبر مياه تغذية لتعديل الـــ pH تمّ تحميضه بحمض الكبريتيك. لا يُزال الفلور خلال التحييد الأولي، وسيتم طرح المياه المحمضة في الصرف. ومع تناقص الـــ pH فإن مياه التغذية سيتم ضبطها عند قيمة 5.5 والمحافظة عليها إلى أن تُستَنزف الطبقة. ويمكن للمياه ذات محتوى فلور منخفض والناتجة من المرحلة المبكرة من العملية، أن تُمزج مع المياه ذات المحتوى المرتفع من الفلور الناتجة خلال مراحلها اللاحقة كي تنتج مياهاً مشتركة ذات مستوىً مقبول من الفلور. تحتوي كافة أنظمة إزالة الفلورة بالألومينا طبقتين على الأقل.

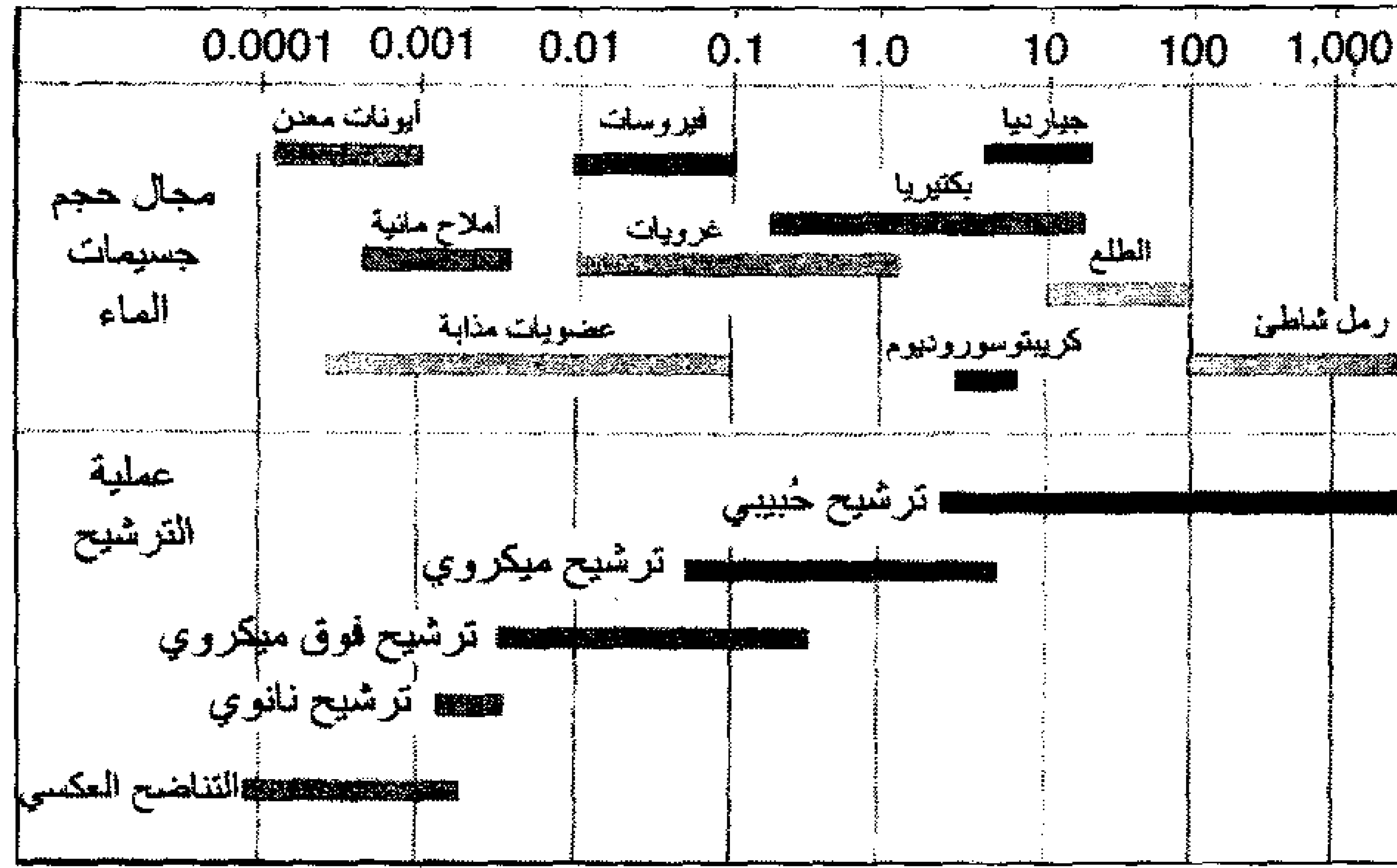
25-7 الترشيح بالأغشية

إن أكثر عمليات الأغشية انتشاراً لمعالجة التجهيزات بمياه الشرب، هي الترشيح الميكروي، والترشيح فوق الميكروي، والتناضح العكسي. يُستخدم في

الترشيح الميكروي والترشيح فوق الميكروي، التلوين الطبيعي لإزالة الملوّثات الغروية والدقائق، للتلاؤم مع متطلبات قوانين مياه الشرب، القاضية بإزالة المُمرضات المكروبية ككيسات الجياردياً وبيوض الكريبتوسبوريديوم. تستخدم عمليات التناضح العكسي والترشيح النانوي أغشيةً نصف نفوذة للفصل بين الأملاح المُذابة، والجزيئات العضويّة، والأيونات المعدنية.

يعتمد تطبيق أنظمة غشائيّة مختلفة على حجم المسام بهدف إزالة الملوّثات. يقع مجال الحُبيبات الناعمة بين 0.1 µm و10 (0.1 إلى 10 ميكرون)، وهي تتضمّن الجسيمات المسببة للعكورة، وكييسات الجياردياً (16-5 µm x 18-8 µm)، وبيوض الكريبتوسبوريديوم (6-4 µm)، والبكتيريا الكبيرة. يُشار إلى العمليات الغشائيّة التي تحدث في مسام تتراوح أحجامها في مجال 0.7 µm إلى 7 تقريباً بالترشيح الميكروي (Microfiltration, MF). يتضمّن مجال الجزيئات التي تتراوح أبعادها بين 0.1-0.001 µm عضويات مجهرية، غرويات ومركبات كبيرة الوزن الجزيئي. والعمليات الغشائيّة التي تحدث في مسام تتراوح أحجامها في مجال 0.8-0.008 µm تقريباً هي الترشيح فوق ميكروي (Ultra Filtration, UF). ويتضمّن المجال الأصغر 0.01-0.0001 µm إزالة الأملاح المُذابة مائياً، والمركّبات العضوية المُذابة والأيونات المعدنية. وتتضمّن العمليات الغشائيّة التي تحدث في هذا المجال الترشيح النانوي (Nanofiltratio, NF) وهو تقريباً 0.008-0.005 µm، إضافة إلى التناضح العكسي (Reverse Osmosis RO) 0.007-0.001 µm.

يلخص الشكل 7-35 عمليات الترشيح خلال معالجة الماء بهدف إزالة الملوّثات. في المقياس العلوي المعطى بالميكرونات (10^{-6}m) يمكن مقارنة القضبان الأفقية لملوّث محدّد مع حجمه بالميكرونات وبعملية الترشيح التي يمكنها تلوينه لإزالته من المحلول.



شكل 7-35: ملوّثات محدّدة مرتبطة بأحجامها بالميكرون وبعمليات الترشيح الغشائي وبالترشيح بأوساط حُبيبية (موافقة من: (Water Quality Improvement Center, Yuma, Arizona))

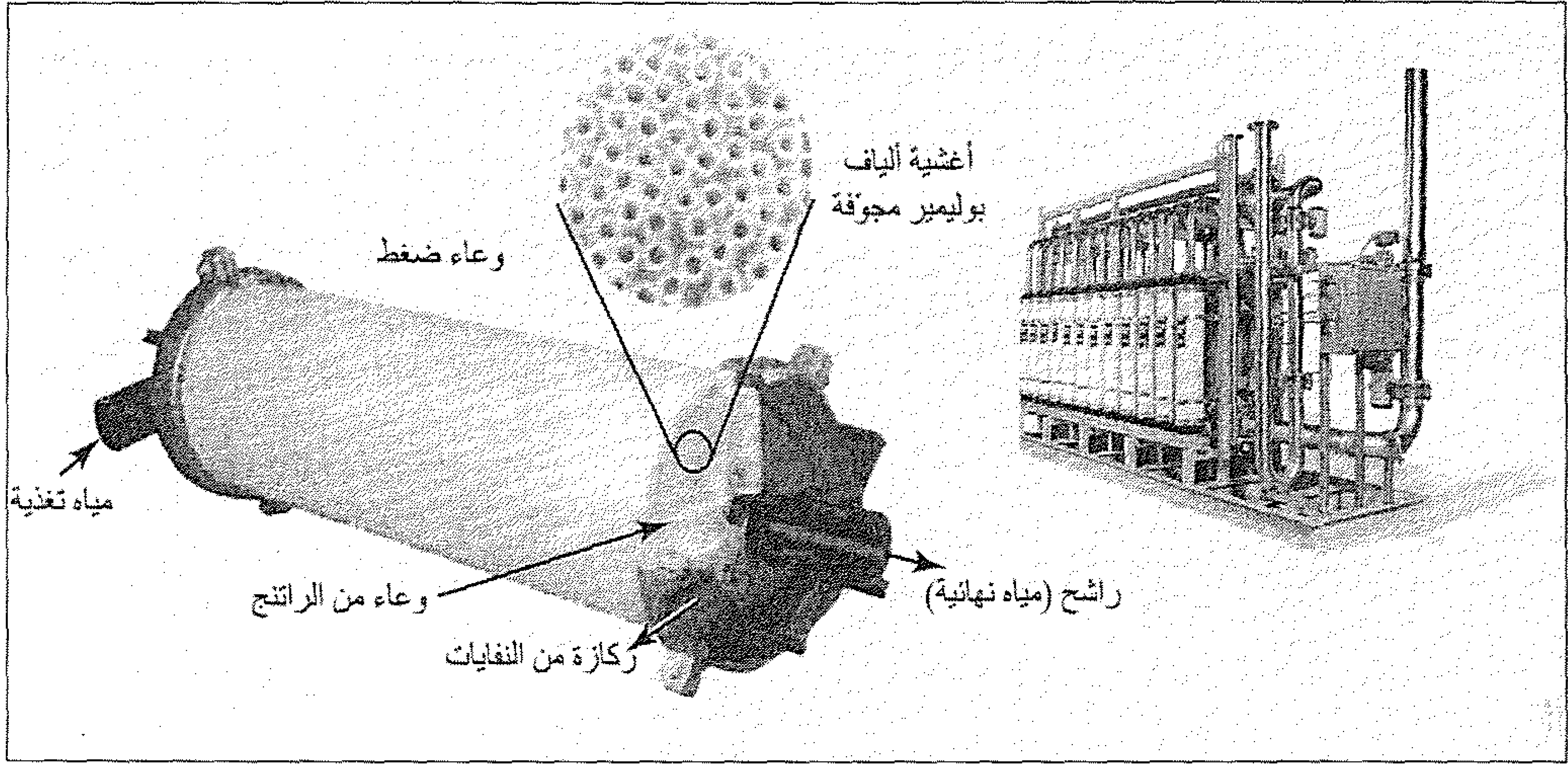
يتم اختيار عملية الغشاء تبعاً للمعالجة المطلوبة، كتخفيف العكورة، والتعقيم، وإزالة المركَّبات العضويّة، وإزالة العسرة، وإزالة الملوحة، أو إزالة أيون محدّد (مثل الزرنيخ أو النترات). تزداد تكلفة المعالجة بالغشاء مع تناقص أحجام الملوّثات التي يتوجّب إزالتها. إن العوامل الرئيسة لتكاليف التشغيل هي المعالجة المسبقة أو المعالجة اللاحقة لإبعاد الغشاء، وضغط التشغيل لإجبار الماء على اختراق الغشاء. يمكن تشغيل الترشيح الميكروي والترشيح فوق الميكروي بضغوط تغذية قدرها 60 Psi أو أقل، بينما يعمل التناضح العكسي في مجال ضغط يتراوح بين Psi 800- 150، وذلك تبعاً لاسترداد المياه الناتجة.

تتطلب المعالجة المسبقة الدنيا، قبل معالجة الغشاء إزالة المواد الصلبة لمنع انسداد مسام الغشاء. تكون الأنظمة الغشائيّة عادةً مؤتمتةً بالكامل وذلك لضبط معدّل التغذية وتردّد الغسيل المرتد. وفي معالجة مياه الصرف، فإن كلّ ما يتطلبه الأمر لحماية أغشية Mf وUF، غرابيل صغيرة الفتحات، ذاتية التنظيف. أغشية RO أكثر عرضة للانسداد ولتشكّل القشور وللتلوّث بالمواد العضوية واللاعضوية المتحلّلة، وبالترسبات الكيميائية وبالنمو البكتيري. وعندما تكون مياه التغذية رديئة النوعية فقد تتطلّب أغشية RO سلسلةً من المعالجات المسبقة وتنظيفاً كيميائياً متكرّراً

للأغشية إضافة إلى الغسيل المرتدّ، ومن ثم يمكن لعمر الغشاء أن ينقصَ بشكل ملحوظ. إن التخلّص من مياه صرف الغشاء وطرحها يمثّل اعتباراً جوهرياً في تقييم جدوى المعالجة بالغشاء. تعتمد كمية مياه الصرف على الرُكازة التي رفضها الغشاء، ومياه الغسيل المرتد، ومياه تنظيف الغشاء. تعتمد الركازة ومياه صرف المعالجة المسبقة على مردود المياه المتغلغلة الناتجة، والذي قد يهبط إلى 30% وقد يصل إلى 98%، وذلك تبعاً للنظام. تُغسل أغشية Mf وUF عادةً غسيلاً مرتداً بمياه دافقة مع تغلغل على أساسٍ زمنيٍّ لإزالة الملوّثات المتراكمة، وذلك تبعاً لنوعية المياه الخام ولنمط نظام الغشاء. تنتج محطة RO لإزالة ملوحة مياه جوفية مالحة أو مياه البحر ركازةَ مياه صرفٍ تحوي تقريباً كلّ ملوّثات المياه الخام، بما فيها محتوى من الملح عال للغاية. يتضمّن طرح مياه الصرف التالي: طرح في نظام المجارير، وطرح في المحيط، واستخدام في الأرض، وبرك التبخر وحقن في الآبار العميقة. تشترط وثيقة المياه النظيفة الحصول على ترخيص "نظام الاستئصال الوطني للتصريف الملوّث" (National Polluted Discharge Elemination System, NPDES).

26-7 الترشيح الميكروي والترشيح فوق الميكروي

يستخدم الترشيح الميكروي والترشيح فوق الميكروي لمعالجة المياه السطحية ذات العكورة المتوسطة لإنتاج مياه قابلة للشرب. وهذه الأغشية هي في الأغلب ألياف مجوّفة جُمعت ورُتّبت لتشكّل حاوية ضغطٍ أُغلقت إحدى نهايتيها بصمغ إيبوكسي (بوليميري). يتم في الوحدة الموضحة في الشكل 7-36، انسياب مياه التغذية إلى داخل الألياف ويتم جمع الراشح من داخل حاوية الضغط بواسطة أنبوب نواة مركزيّة. يتم جمع الركازة من نهايات الألياف المجوّفة وطرحها في مياه الصرف.



شكل 7-36: وحدة ألياف مجوّفة لترشيح فوق ميكروي لإزالة المُمرضات، بما في ذلك كييسات الجيارديا وبيوض الكريبتوسبوروديوم والجسيمات المسببة للعكورة ومحطة معالجة مياه بحر (موافقة من: Hydranautics, a Nitto Debko Corp.)

تتوفر أغشية الألياف المفرغة بقياسين، 0.8 mm للقطر الداخلي و1.2 mm، لمياه تغذية عالية العكورة. يتراوح معدّل الجريان فيها بين 15 gal/ft^2 . d و75، (3.1-0.6 m^3/m^2 . h). ولدى ضغط أقصى لمياه تغذية قدره 73 Psi، يكون الضغط الأقصى عبر الغشاء 30 Psi، ويكون انسياب الراشح 11-30 gpm (6.9- m^3/h gpm) 2.7). وفي وضعية الغسيل المرتدّ، ينساب الراشح باتجاه معاكس من أنبوب النواة المركزيّة ضمن حاوية الضغط عبرالألياف ليتدفّق دافعاً الملوّثات إلى مياه الصرف. تحدث دورة مياه الغسيل المرتد كل 15 min إلى 60 وذلك لفترة تمتدّ 30 sec إلى 60 تحت ضغط 35 Psi. أما الحد الأدنى لتواتر الغسيل المرتد الكيميائي المُحسّن فهو مرة أو مرتان باليوم ولمدة تتراوح بين 1 min و10.

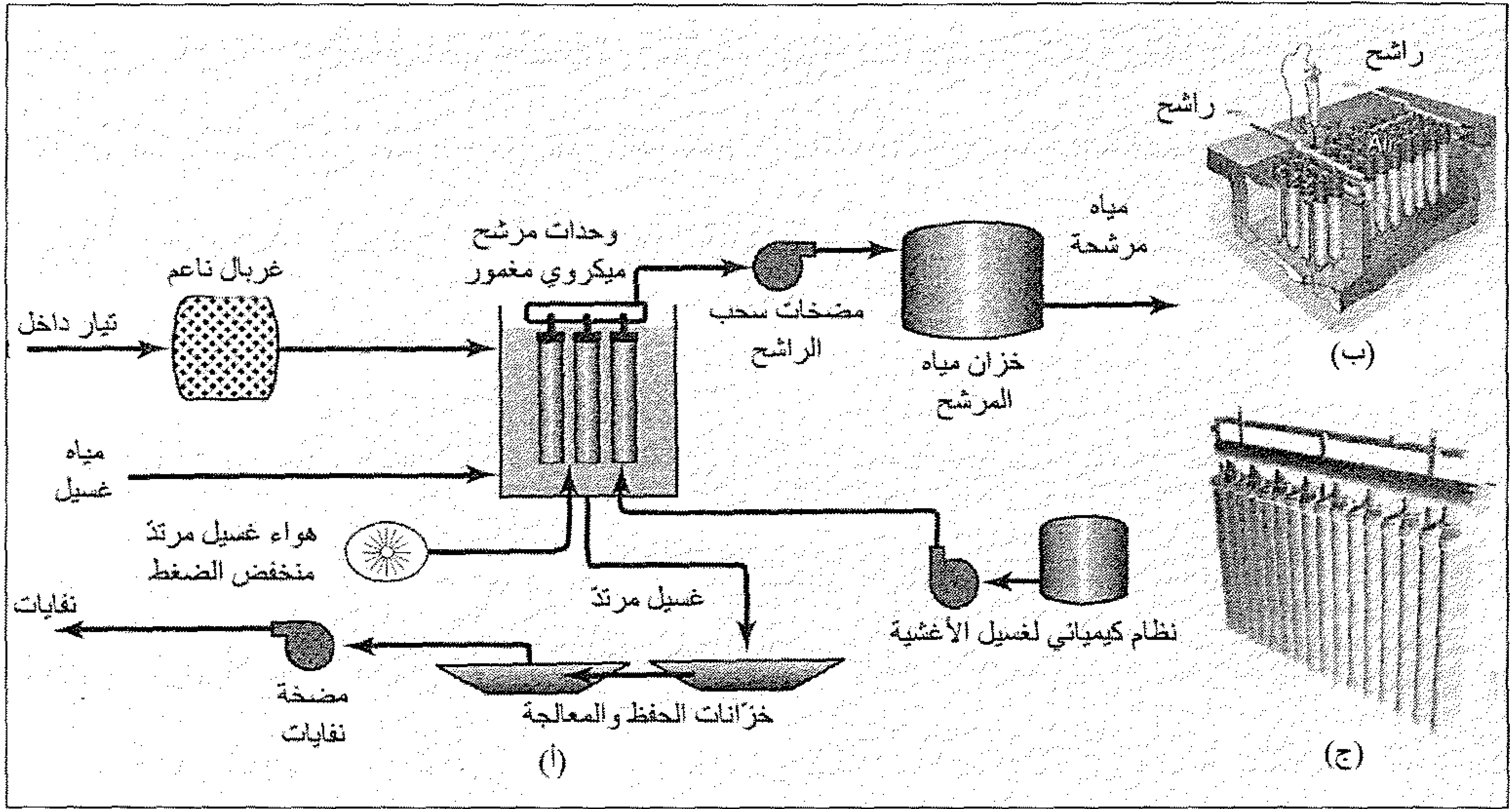
يمكن أن تتكون أنظمة الترشيح الميكروي والترشيح فوق الميكروي من أغشية ألياف مجوّفة تقوم بترشيح الماء من الخارج إلى الداخل بانسياب عكسيٍّ من حاوية الضغط عبر الجدران إلى داخل الأغشية. وفي التيار العكسيّ تتراكم الملوّثات على السطح الخارجي لأغشية الألياف المجوّفة وينساب الراشح النظيف خارجاً من داخل

التجاويف. ومزيّة الانسياب العكسي تتمثل بفرق ضغط أقل لانسياب محدّد، وبعدد أقل من الألياف، وذلك لأن مساحة السطح الخارجي للألياف أكبر من مساحة السطح الداخلي. يزداد الضغط عبر الغشاء بزيادة حمولة الملوّثات، وسيبدأ أوتوماتيكياً غسيل مرتد لدى نقطة محدّدة مسبقاً لنسبة الهواء–الماء. تتسبب نبضات من الهواء المضغوط من داخل الألياف المجوّفة في تفكيك الملوّثات ونبذها من على السطح الخارجي للغشاء.

يتم ترحيل الملوّثات بعد ذلك من حاوية الضغط إما بمياه تغذية أو بترشيح كمياه غسيل مرتدّ. يحافظ استخدام الهواء في سلسلة الغسيل المرتد على إبقاء الألياف دون اتصال ببعضها ما يعيق تنظيفها. يبدي نظام الانسياب العكسي مزايا أخرى هي مردودية قصوى قدرها 95% من مياه التغذية، وتخفيف معتبر لكمية إنتاج مياه غسيل مرتدّ نتيجة استخدام غسيل مرتدّ بالهواء والماء معاً.

يعرض الشكل 7-37 طريقة Memcor® لترشيح مجهري مغمور ومستمر. كل خلية مستقلة بذاتها وذات جهاز محيطي مساعد يتضمن مضخات سحب الراشح، ونافخات هواء، ونظام كيميائي لتنظيف الأغشية، ونظام تحكم. وكما هو مبين في الشكل (7-37ب) فإن الخلية عبارة عن خزان حاوٍ على عدد كبير من الوحدات مُلئت بمئات الألوف من الألياف المجوّفة المنفصلة تقوم بترشيح الماء من الخارج إلى الداخل.

يتم سحب الانسياب المعكوس للمياه من الخليّة إلى داخل ألياف الغشاء، بواسطة إخلاء الهواء بمضخة ماصّة إلى داخل خزان المياه المفلترة. يتم ترتيب وحدات الغشاء وجمعها مع بعضها البعض ضمن شعب (شكل 7-37ج) وغمرها تحت مستوى الماء في الخلية وربطها بشعبة الراشح (مياه نظيفة).



شكل 7-37: Memcor® عملية (CMF-S) ترشيح ميكروي مغمور مستمر (أ) خلية تحوي وحـدات غـشائيّة وتجهيزات محيطية بما في ذلك غربال للتدفّق الداخل. (ب) وحـدات في خلية جمعت مع بعضهـا البعض في عدّة تجمّعات متشعبة. (ج) تجمّع متشعب مع وحدات ترشيح ميكروي معلّقة (موافقة من: (US Filter/Memcor))

يخفّف الغسيل المرتدّ المكوّن من مياه – هواء، كمية مياه الغسيل المطلوبة لغسل الوحدات، ما ينتج منه ازدياد النسبة المئوية لاسترداد الراشح، وهو ما يمثل مزيةً رئيسة للترشيح المجهري من الخارج إلى الداخل. وعند بدء الغسيل المرتد، يكون صمام التدفّق الداخل إلى الخلية مغلقاً ويستمر الترشيح إلى أن ينخفض منسوب الماء ضمن الخلية إلى منسوب أعلى بقليل من قمم الوحدات. بعد ذلك يتم إدخال الماء عند قاعدة الوحدات ليحرّر الأوساخ والفتات من على سطوح ألياف الغشاء. ولتسهيل التنظيف داخل الوحدات، يتم إدخال الهواء ضمن القاعدة بواسطة وصلة هواء مع الشعب السفلية. ومع استمرار التنظيف الهوائي خارج الألياف يتم التغذية العكسية بمياه مرشّحة نظيفة إلى داخل الألياف في غسل الفتات الموجود على السطح الخارجي لألياف الغشاء. ومع إتمام غسيل هواء – مياه المرتد، يتم تجفيف الخلية بالارتشاح لإزالة الماء الوسخ والفتات منها، وإعادة ملئها بمياه تغذية. إن تسلسل عمليات الغسيل المرتدّ تستغرق أقلّ من ثلاث دقائق.

إن تلوّث الغشاء هو السبب الأول في تراجع إنتاجية الترشيح الميكروي. والتنظيف الكيميائي ضروري في الترميم والتجديد ويتم عادةً باستخدام مواد كيميائية كاوية ممزوجة بمواد مؤثّرة في السطوح أو حمض سيتيريك مخفف، أو هيبوكلوريت الصوديوم.

يقوم نظام التحكّم بقياس الضغط عبر الغشائي لخلية ما بشكل مستمرّ وعرضه، مشيراً إلى حاجته للتنظيف. كما يقوم نظام التحكّم باختبار سلامة أداء حاجز الغشاء، وتركيب اللفيفة، وقاعدة الحلقة المستديرة، والوصلات العرضية المحتملة. فإن لم تجتز خلية ما اختبار السلامة فيمكن لكادر الصيانة أن يقوم بتحديد التسرّب وذلك عبر إدخال هواء إلى نظام الترشيح الميكروي ومراقبة الوحدة المسرّبة من خلال تحرر فقاعات الهواء. يراقب نظام التحكّم أيضاً تشغيل النظام، مثل انسياب الراشح بأمر إنتاج يدويّ أو أوتوماتيكيّ.

مثال 7-19[8]

لغاية عام 1997، كان التجهيز بالمياه لمدينة ماركيت بولاية ميتشغان مياهاً مكلورةً يتم سحبها من بحيرة ليك سوبيريور. لم يمكّن غياب المعالجة، باستثناء الكلورة، من استيفاء متطلبات قانون معالجة المياه السطحيّة، والذي ينصّ على أن الترشيح مطلوب ما لم يتمكن من يقوم بتقديم التجهيز بالماء، من إثبات أن حوض شبكة تغذية مياه البحيرة تحت السيطرة كليةً، وأن نوعية المياه الخام تفي بالمعايير الصارمة. وتحت هذا القانون، فإن الترشيح مطلوب حتى وإن كانت عكورة الماء بين 0.2 NTU و0.3، (مع قيمة أعظمية تاريخية بلغت 6-5 NTU) من منهل موجود على قاع صخري على عمق 60 ft ويبعد عن شاطئ البحيرة 3000 ft. وكانت مشكلة المدينة هي ضيق مساحة البناء لدى محطة الضخ القائمة بجانب شاطئ

البحيرة. كما إن الموقع محاط بمساكن خاصّة وبمتحف، إضافة إلى أن سطح الأرض مكوّن من صخر الأديم (الأساس).

الحل

لم تكن محطة ترشيح تقليدية خياراً قابلاً للتطبيق. لقد أوصيَ بترشيح ميكروي نظراً إلى استطاعته مع الكلورة الإيفاء بمتطلبات $C . t$ (تركيز التعقيم . زمن التّماس)، ولاحتياج كميات الحدّ الأدنى فقط من المواد الكيميائيّة، ولإمكانية إنتاج نوعية مياه أجود مقارنةً بالترشيح التقليدي.

قدم مصنّعان معدات ترشيح ميكروي لفترة اختبار قدرها 6 أشهر وذلك لعرض فاعلية الترشيح الميكروي في أثناء أشهر المياه الباردة الحرجة. لقد كان النظام A ترشيحاً باستخدام انسياب مسار من الخارج إلى الداخل (انسياب عرضي). أما النظام B فكان ترشيحاً باستخدام انسياب مسار من الداخل إلى الخارج وغسيلاً مرتداً بالماء. لقد راقبت الدراسة الاستطلاعية نوعية مياه الراشح، عبر عدّ الجزيئات في المجال الحرج لكييسات الجيارديا وبيوض الكريبتوسبوريديوم، وعبر العكورة، والضغط عبر الغشاء، ومتحوّلات التشغيل كإنتاج الغسيل المرتدّ وتواتر التنظيف. إن نتائج إزالة الجسيمات في مجال 2-10 μm لدى قيمة أساس لـ log 10 بلغت 3.3 للنظام A و3.8 للنظام B، كما كانت العكورة ثابتة على الدوام في مجال تراوح بين 0.03 NTU و0.5 لكلا النظامين. لقد قدمت كلّ من وحدتي التجريب نوعية راشح مياه ممتازة. لكن غسيل مياه – هواء المرتد كان في النظام A أكثر كفاءة في تنظيف الألياف المجوّفة كما كان أكثر كفاءة في ضبط الضغط عبر الغشاء. لقد كان إنتاج الغسيل المرتد كنسبة مئويّة من الماء المرشّحة 8% و40% في النظامين A وB على التوالي، وقد عُبّر عن معدّل التنظيف بتواتر زمني قدره 2.4 يوم و22 يوم. ونتيجة هذه الاعتبارات تمّ اختيار النظام A.

لقد تمّ تصميم محطة ترشيح ميكروي بشكل كامل على الأساس التالي: معدل الجريان الأعظمي للغشاء $125\ l/m^2.h$ وذلك اعتماداً على معدلات استطلاعية تجريبية، ومعدل انسياب يومي قدره $11000\ m^3/d$ (2.8 mgd)، لـ 8 إطارات وفي كلّ إطار 90 وحدة لمساحةٍ داخلية للغشاء قدرها $10800\ m^2$ ($116000\ ft^2$)، مع بقاء إطار واحد خارج الخدمة، بلغ الانسياب المقدر للمحطة $26000\ m^3/d$ (7 mgd) مع بقاء إطار واحد خارج الخدمة، وبلغ معدل الجريان لهذا الانسياب $100\ l/m^2.h$، بلغ تصميم الغسيل المرتد الأعظمي $3000\ m^3/d$ (0.80 mgd).

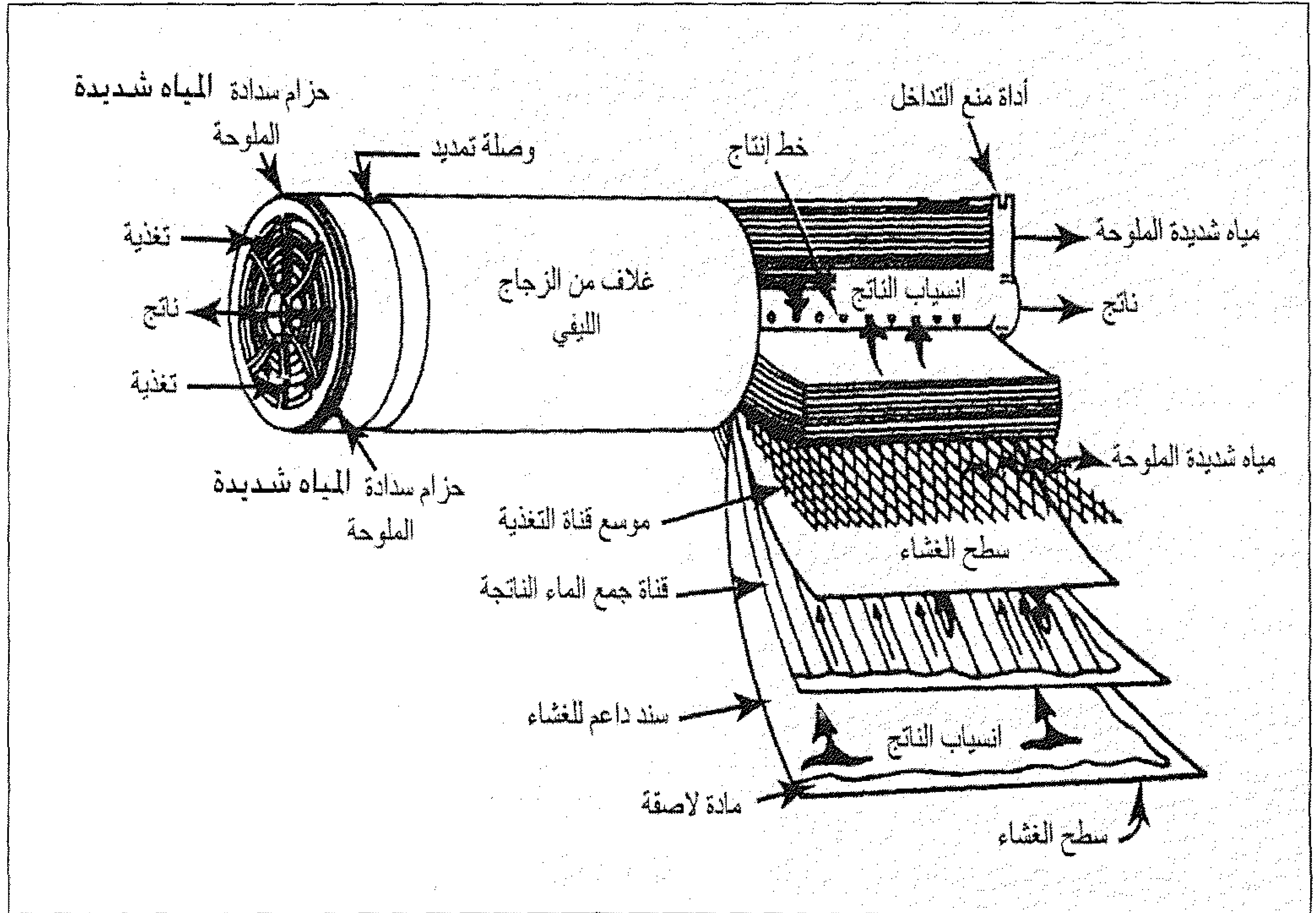
تُركّب مصافي غرابيل للتنظيف الذاتي كمعالجة مسبقة للترشيح الميكروي. ويتم طرح ناتج الغسيل المرتد هواء – ماء بترخيص "نظام الاستئصال الوطني للتصريف الملوّث" (National pollutant Discharge Elimination System, NPDES) ومن دون معالجة في ميناء مدينة ماركيت. يتم تحييد الغسيل المرتد للأغشية بعد الغسيل الكيميائي (هيدروكسيد الصوديوم ومواد مؤثرة على السطوح) بالحمض قبل طرحه في المجارير الصحية. تتم كلوَرة المياه المرشحة في أثناء انسيابها إلى خزّانات تخزين على مستوى الأرض، وتزال كلورتُها في أثناء ضخها في نظام التوزيع. كافة مراحل التشغيل مؤتمتة إلى أبعد الحدود باستخدام برامج تحكّم بالحاسوب.

27-7 التناضح العكسي

يفصل انسياب التناضح العادي للمياه عبر غشاء نصف نفوذٍ مياهاً عذبة عن أخرى مالحة، ويكون بالنسبة إلى المياه العذبة هو مرورها عبر الغشاء مخففاً المياه المالحة على الطرف الآخر من الغشاء. أما التناضح العكسي فهو المرور القسري للمياه عبر غشاء نصف نفوذ معاكساً ومضاداً للضغط التناضحي الطبيعي، وذلك لفصل المواد الصلبة المُذابة متسبباً بزيادة تركيز الأملاح في الماء المالحة. وتحت ضغط عال في عملية RO فإن المياه المالحة ومياه البحر ستمرّ عبر الغشاء تاركةً

المواد الصلبة المُذابة خلفها نتيجة حجب مرور أيونات الملح. يبلغ ضغط تناضح مياه البحر حوالى 350 Psi تقريباً، ونظراً إلى أن المياه المالحة ذات محتوى تركيز أملاح أقل، فإنها ستكون ذات ضغط تناضح أقل بكثير، ما لا يمكّنها من تجاوز التناضح العكسي.

تقع ضغوط تشغيل التناضح العكسي النموذجيّة من أجل أداءٍ مُرضٍ في مجال 800-350 Psi. ويعتمد معدّل انتقال المياه بصورة رئيسة على قدر الضغط المطبق، وخصائص الغشاء، وعلى الاختلاف بين تراكيز مياه التغذية المالحة والمياه الناتجة.



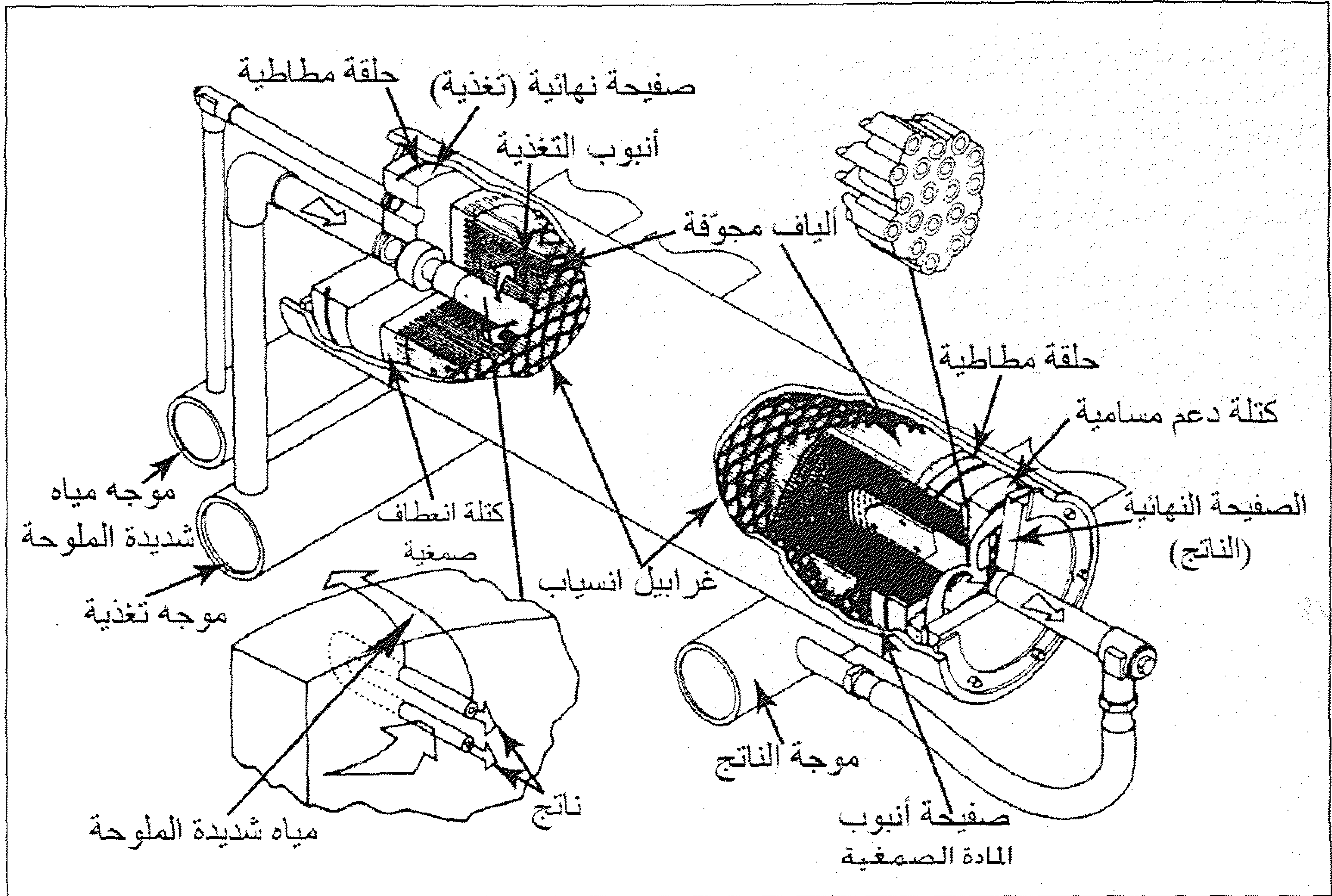
شكل 7-38: وحدة ملفاف مغزلي للتناضح العكسي

تبنى وحدة الملفاف المغزلي المبينة في الشكل 7-38 من طبقات غشائيّة كبيرة تغطي طرفي المادة الداعمة المسامية التي تجمّع المياه المتغلغلة (المياه الناتجة). يتم

سد الحافتين الطويلتين بإحكامٍ إضافةً إلى سد أحد الحافتين القصيرتين، ليتشكّل مظروف يتضمّن المادة الجامعة للمياه المتغلغلة. توصل الحافة المفتوحة بأنبوب مركزيّ مثقّب، يستقبل المياه المتغلغلة من المادة الجامعة ويحملها بعيداً. يُلفّ عدد من هذه المظاريف مع إبقاء تباعد تشابكي بينها يسمح للمياه المالحة بالانسياب، لتشكّل وحدة ملفاف مغزلي.

تدخل المياه المالحة من نهاية الوحدة عبر الفراغات بين مظاريف الأغشية التي وفرها التباعد التشابكي. وتحت ضغط عال تُجبر المياه على التحرك من المياه المالحة في فراغات المُباعِد ومن ثم عبر الأغشية، لتنقل بواسطة جامعات مساميّة محيطة، المياهَ المتغلغلة إلى الأنبوب المثقّب. في مركز الوحدة، تطرح المياه عالية الملوحة من فراغات المُباعِد عند نهاية مخرج الوحدة.

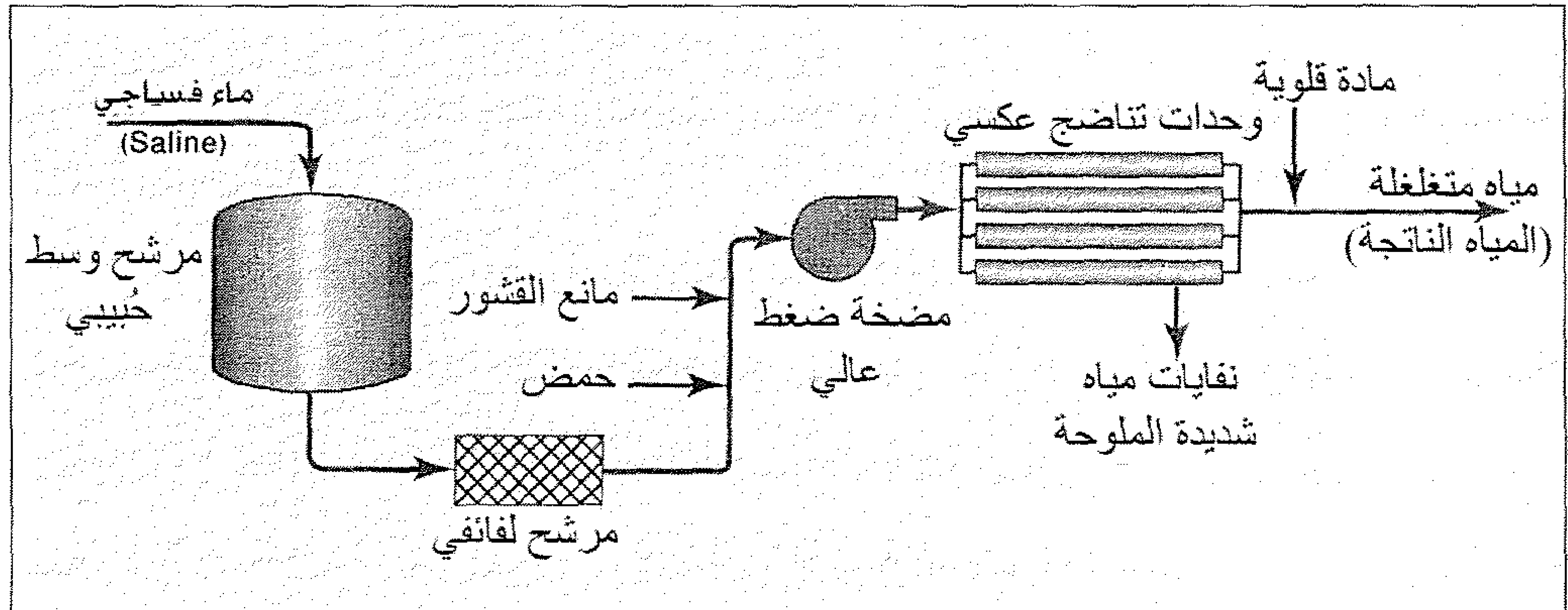
إن وحدة الألياف المجوّفة الموضحة في الشكل 7-39، عبارة عن حاوية ضغط تحوي عدداً كبيراً من الأغشية الليفية الميكرويّة تمّ ترتيبها ورصّها في رزمةٍ لها شكل حرف U أُقفِلت فتحاتُها عند النهاية المسدودة للوحدة. يبلغ القطر الخارجي للألياف المجوّفة، والتي لها مظهر خيط ثخين 85 µm إلى 100، أما قطرها الداخلي فيبلغ 100 µm. وبسبب قطرها الصغير والسماكة النسبية لجدارها، يمكن لهذه الأنابيب أن تتحمّل الضغط العالي للتناضح العكسي المطلوب لإجبار الماء على التحرك من المياه المالحة المحيطة إلى اللبّ المجوّف للألياف. تدخل المياه المالحة إلى الوحدة من خلال أنبوب تغذية مركزيّ مثقّب وينساب شعاعياً عبر حزمة الألياف إلى الهيكل الخارجيّ للأسطوانة. وتحت ضغطٍ عالٍ، تدخل المياه إلى الألياف المجوّفة وتخرج من نهاياتها المفتوحة عند نهاية طرح الوحدة. يتم جمع المياه المالحة المنبوذة إلى الهيكل الخارجي للأسطوانة، بواسطة حاجز انسيابٍ، لتُنقل إلى خارج الوحدة.



شكل 7-39 : وحدة ألياف مجوّفة للتناضح العكسي (موافقة من: Permasp Products, E. I. du Pont de Nemours & Co.)

يتكون النظام الأساسيّ للتناضح العكسيّ من وحدات معالجة مسبقة، ومضخات لتأمين ضغط تشغيل عال، وخزّانات ما بعد المعالج، وملحقات فرعيّة للتنظيف والشطف، ونظام تخلّص من المياه المالحة المنبوذة. وينبغي أن تكون المياه المالحة التي تغذي وحدات RO نقيةً من المواد الصلبة المعلّقة، وخاليةً من المواد العضويّة، ومن العسرة الفائضة، ومن الحديد والمنغنيز لمنع تلوّث الأغشية وتشكّل قشور فيها. وكما هو موضّح في الشكل 7-40 تتضمّن عموماً المعالجة المسبقة أوساطاً حُبيبيةً وترشيحاً لفائفياً (أبعاد فتحاتها 25 μm)، إضافة أحماض (تحميض)، وإضافة مانع تشكّل قشور. وفي المحطات الكبيرة، يمكن أن يسبق الترشيح بأوساط حُبيبية، تخثّر كيميائيٌّ للمياه العكرة، أو إزالة عسرة المياه العسرة بالترسيب. فإن احتوت المياه على مواد عضوية، فإن المعالجة المسبقة ستكون ترشيحاً بواسطة كربون حُبيبي منشّط، يعقبها كلورة لإعاقة النمو الحيوي. إن تخفيض قيمة الـــ pH

إلى 6 أو ما دون ذلك بواسطة تغذية بحمض الكبريتيك يحوّل جزءاً من أيون البيكربونات إلى غاز ثاني أكسيد الكربون، جاعلاً بالتالي المياه أكّالة لتخفيف احتمالية تشكّل قشور كربونات الكالسيوم وأكسدة الحديد والمنغنيز. يتم إضافة هيكساميتافوسفات الصوديوم، أو أيّ معيقات أخرى لتجنب تشكّل كيميائيٍّ للقشور. والمعالجات اللاحقة ضرورية لاستقرار المياه المتغلغلة، نظراً إلى أن ثاني أكسيد الكربون الذي تشكّل بالتحميض يمكن أن يمر عبر الأغشية مع المياه الناتجة. تُستخدم المهويّات لإزالة ثاني أكسيد الكربون، كما يُضاف الجير ورماد الصودا لتأمين ضبط نهائي للـ pH. يتطلب الأمر تنظيفاً دورياً لسطوح الأغشية للمحافظة على كفاءة عالية لنقل المياه. تُشطف الوحدات بغسول حمضي وبمنظفات لإزالة أيّ تراكم لأيونات معدنية، وترسبات أملاح، ومواد عضوية، ونمو حيوي.



شكل 7-40: مخطط انسياب لنظام أساسيّ للتناضح العكسي

تتباين كمية المياه المالحة المنبوذة بين 10% و30% من التغذية بالمياه المالحة وذلك تبعاً لطريقة التشغيل. يمكن لمحطة نموذجيّة تعمل بمياه تغذية تحوي mg/l 2000 من المواد الصلبة المُذابة الكليّة أن تصل اقتصادياً بتحويل يقارب 75%، ما يعني أن gal 100 من مياه التغذية تنتج gal 75 من المياه مع مياه مالحة منبوذة نسبتها gal 25 تحتوي على mg/l 6000 إلى 7000 من المواد الصلبة المُذابة. إن بلوغ نسبة مردوديّةٍ أعلى أمرٌ ممكن، وذلك عبر تخفيف التحميل الهيدروليكيّ أوّ

زيادة الضغوط، غير أن المحتوى المرتفع للأملاح المُذابة في المياه المنبوذة ينضوي على احتمال أكبر لتشكيل قشور على الأغشية.

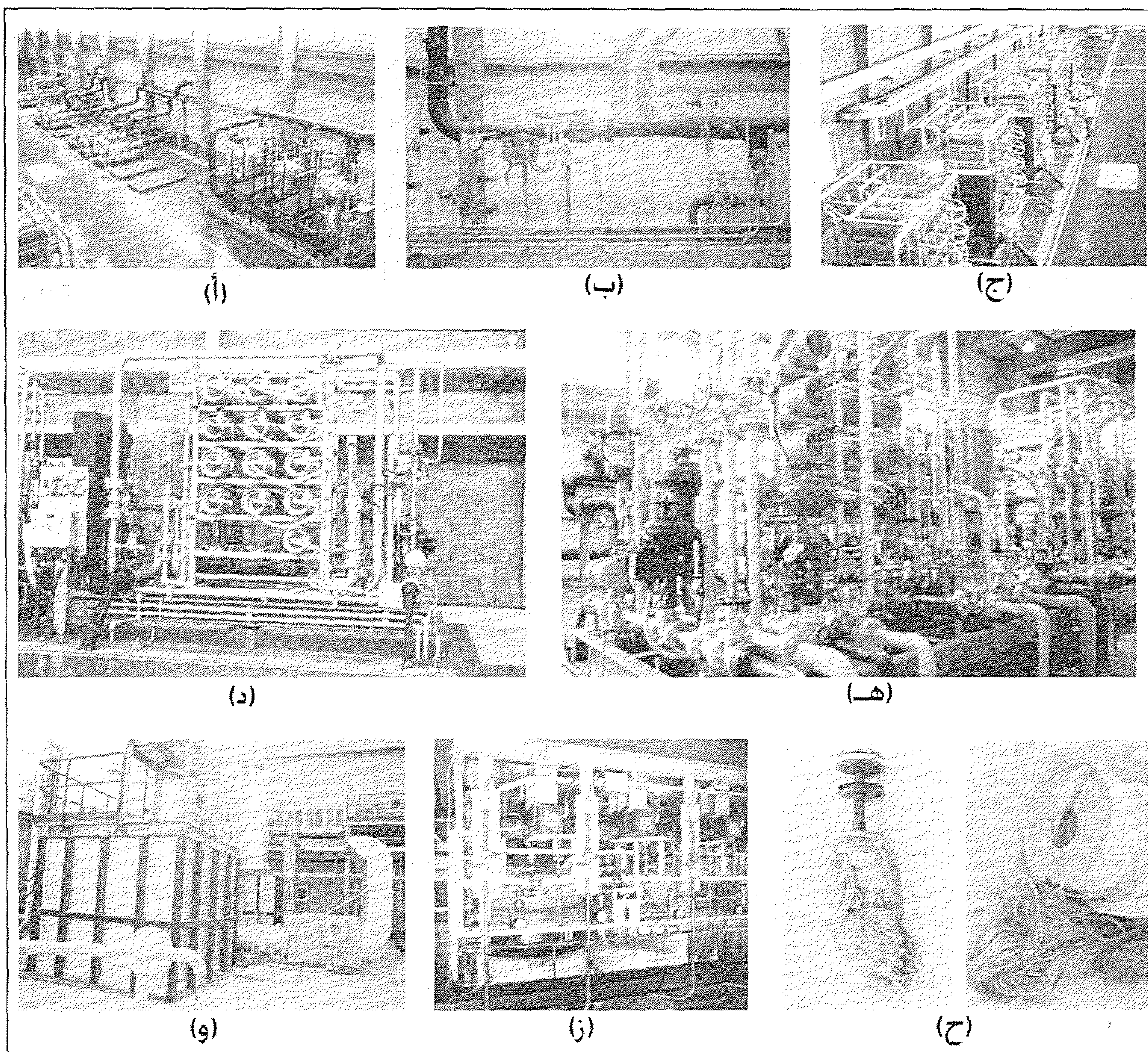
تشكّل التكاليف المترتبة عن التخلص من حجم كبير من الماء المنبوذة مشكلةً اقتصادية وبيئيةً حرجةً ترافق المعالجة بالتناضح العكسيّ في أمكنة تقع في المناطق الداخلية للبلاد.

مثال 7-20

تجاوزت ملوحة التجهيز بالمياه الجوفية لتجمّع صحراويٍّ كمية المواد الصلبة المُذابة الكليّة الموصى بها لمياه الشرب. أُشيدت محطة تناضح عكسيٍّ كي تعالج مياهاً متوسطة الملوحة لتحويلها إلى نوعية مياه شرب. ولجعل كمية استهلاك مياه الشرب في أدنى حد، مُدّت شبكة أنابيب منفصلة كي تنقل المياه المعالجة إلى مطابخ قاطني التجمّع وإلى المرافق العامة التي طلبت تجهيزاً بمياه الشرب. كانت المياه الجوفية المالحة وغير المعالجة صالحةً لكافة الاستخدامات داخل المنزل ما عدا استخدامها للشرب وتحضير الطعام. تُروى الحدائق والمروج الخاصّة والحدائق العامة والمناطق الطبيعية على امتداد الطرقات بمياه متوسطة الملوحة.

الحل

يتم ضخ أفضل نوعية مياه جوفية لإزالة الملوحة من بئرين عمقهما 400 ft مزودتين بمصافي وإكساء مشيد من مواد غير أكّالة. بلغ تركيز المواد الصلبة الكليّة المُذابة في المياه الجوفية 2700-2600 mg/l، وكانت قيمة الـ pH ‏7.2-6.8. وحيث إن مياه البئر خالية من الطمي، والحديد، والمنغنيز، وذات محتوىً منخفض من السيليكا، فإن المعالجة المسبقة المطلوبة كإجراء احترازيٍّ هي مرشحات ذات وسط حُبيبي فقط وغسيل مرتدّ هوائي.



شكل 7-41: معالجة تناضح عكسي لمياه جوفية متوسطة الملوحة. (أ) مضخات معزّزة إلى اليسار ومرشحات لفائقيّة إلى اليمين. (ب) تغذية كيميائية لمزج حمض الكبريتيك وهيكساميتافوسفات مع تغذية بالمياه الجوفية متوسطة الملوحة. (ج) خمس وحدات RO مستقلة في الدهليز. (د) كل وحدة RO ذات مضخة تغذية ضغط عالي و13 وحدة مياه متغلغلة (مياه ناتجة). (هـ) إلى اليسار شبكة أنابيب للغسيل المرتد أو وحدات إذا اقتضت الضرورة، إلى اليمين أنابيب ملتفة للأسفل لنقل المياه الناتجة ولطرح المياه شديدة الملوحة في أنابيب أكبر في دهليز مجوف. (و) طبقة محشوة لتيار معاكس لنزع CO_2 هوائياً من المياه الناتجة. (ز) مغذيات كيميائية ترفد رماد الصودا، حمض فلوروسيليسيك، وهيبوكلوريت الكالسيوم للمياه النهائية. (ح) مقطع في وحدة RO لرؤية الألياف المجوّفة

يظهر الشكل 7-41 الوحدات الأولية في معالجة RO في هذه المحطة. ففي الشكل (7-41أ)، تمدّ المضخات الداعمة الموجودة إلى اليسار، المياهَ الجوفية المفلترة إلى المحطة من حامل مائي جوفي. وإلى اليمين هناك ثلاثة مراشح لفائقيّة لإزالة الجسيمات التي يتجاوز حجمها 5 µm (0.005 mm). يبلغ متوسط عمر عناصر

المرشح القابلة للتبديل 12 أسبوع. بينما يظهر الشكل (7-41ب) مازجات (خلاطات) ذات صفائح صدٍّ لإضافة 150 mg/l من حمض الكبريتيك لتحميض المياه الجوفية إلى قيمة pH 5.8 وذلك لمنع تشكّل قشور $CaCO_3$، وإضافة 10 mg/l من هكساميتافوسفات لمنع تشكّل قشور $CaSO_4$. الشكل (7-41ج) صورة لخمس وحدات RO في دهليز الترشيح. وفي الشكل (7-41د) إلى يسار وحدات RO وخلف وحدة التحكّم الداكنة اللون، يوجد مضخة عالية الضغط لتدعم ضغط التغذية للوصول إلى 370 psi. يبلغ قطر كلّ وحدة من الوحدات .8 in وطولها .48 in. يفرغ الخرطوم المركزيّ في كل وحدة، المياه المتغلغلة الناتجة. ولوحدة RO ، ثلاث عشرة وحدة معالجة، تسعٌ منها في المرحلة الأولى، وأربع في المرحلة الثانية. تنتج مياه التغذية التي تدخل إلى المرحلة الأولى 50% من مياه متغلغلة مرشّحة و50% من مياه مالحة. تدخل المياه المالحة هذه المتأتية من المرحلة الأولى إلى المرحلة الثانية، لتنتج مرة أخرى مياهاً متغلغلةً مرشحةً و50% مياهاً مالحة. وبالتالي فستكون المردوديّة الكليّة للمياه الناتجة 75% من مياه التغذية و25% من المياه المالحة المنبوذة. يظهر الشكل (7-41هـ) ترتيباً للأنابيب بجانب وحدة RO من أجل شطف مرتدٍّ للوحدات بالمياه الناتجة وبمحاليل كيميائية مُنتقاة لإزالة القشور والملوّثات الأخرى من سطوح الغشاء. تنقل الأنابيب الملتفّة للأسفل خلف وحدة RO المياه الناتجة وتنبذ المياه المالحة إلى أنابيب أكبر موجودة في دهليز أنبوب مجوّف.

المياه الناتجة أكّالة جداً بسبب وجود CO_2 تشكّل نتيجة التحميض وسيادة قيم pH منخفضة. يظهر الشكل (7-41و)، طاردَ غازات خارج المبنى مع طبقة معاكسة للتيار لنزع هوائيٍّ لغاز CO_2 ، الأمر الذي يرفع pH من 5.8 إلى 7 تقريباً. وفي الشكل (7-41ز)، تُضاف المواد الكيميائية الآتية إلى المياه التي نزعت الغازات منها: 10 mg/l من رماد الصودا لاستقرار المياه برفع pH من 8.2 إلى 8.5،

وحمض فلوروسيليك لزيادة تركيز أيون الفلور من 0.2 mg/l إلى تركيز نموذجي قدره 0.8 mg/l، وهيبوكلوريت الكالسيوم وذلك لإيجاد متبقي كلور قدره 0.9 mg/l.

وللمياه الجوفية المالحة المعالجة تركيز كليٌّ من المواد الصلبة المُذابة يبلغ 2700-2600 mg/l، وقلوية بنحو 210 mg/l ، وعسرة كالسيوم 540 mg/l، وملوحة عالية تبلغ تقريباً 1500 mg/l من NaCl. والمياه النهائية بعد إتمام معالجة RO ذات تركيز كلي للمواد الصلبة المُذابة يبلغ 210 mg/l، وقلوية بين 100-80 mg/l، وتركيز أيون الكالسيوم قدره 7 mg/l، وهي بذلك مياه شرب مستقرّة، غير أكّالة، وصحيّة.

إن وحدات الألياف المجوّفة في محطة RO هذه، هي كما وصفت في الشكل 7-39. ويبدي الشكل (7-41ح) مقطعاً مفتوحاً في الوحدة ليظهر الألياف المجوّفة والتي من شدة نعومتها تبدو وكأنها خيوط متجمّعة مع بعضها. وتُظهر الصورة إلى اليسار تغذية نهاية الصفيحة وحاجز انعطاف صمغي يزلق أنبوب التغذية للأسفل. تُظهر الصورة إلى اليمين الحاجز الذي يدعم النهايات المفتوحة للألياف المجوّفة والتي تجمّع منها المياه المتغلغلة الناتجة عن الترشيح.

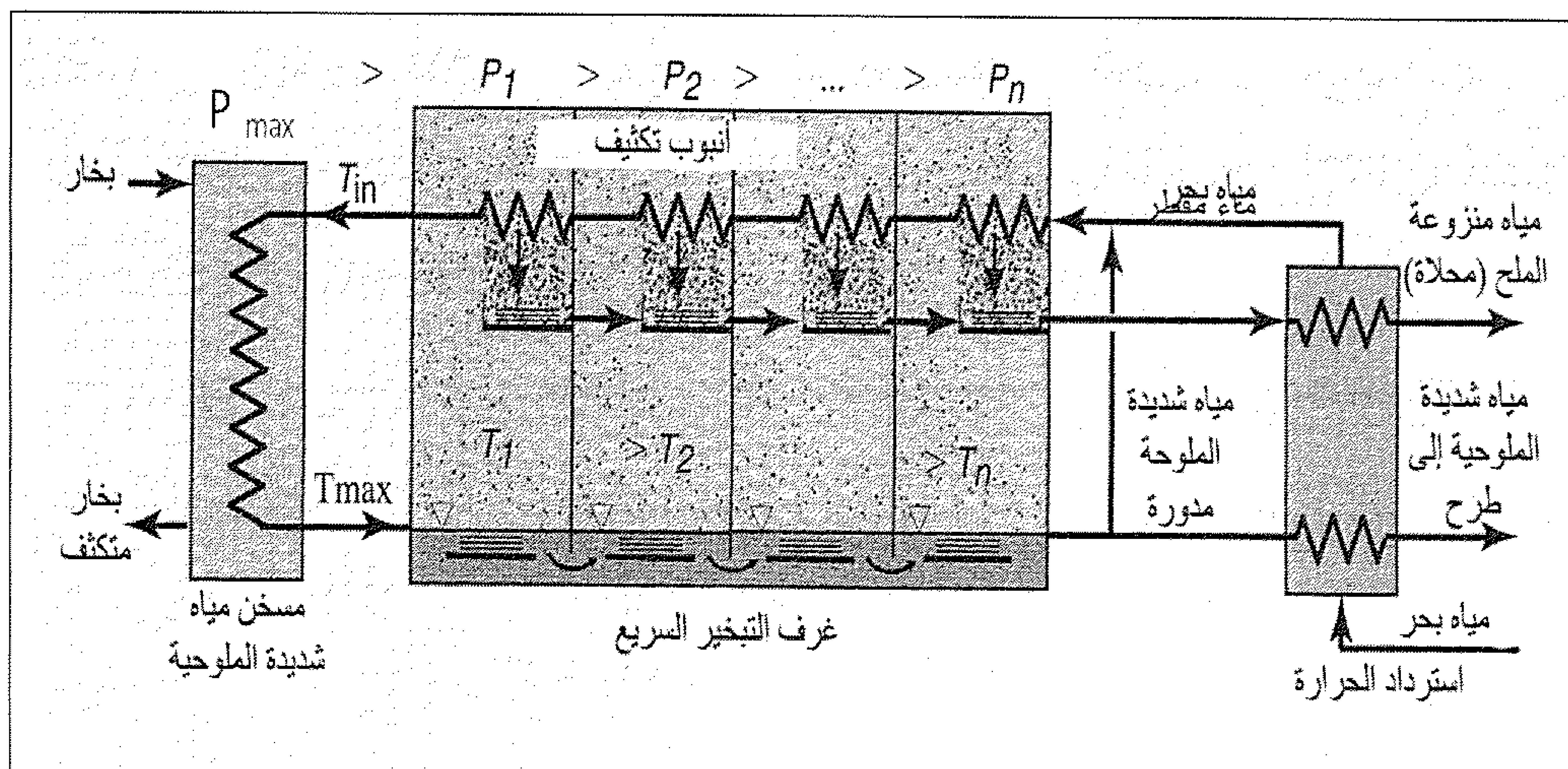
7-28 إزالة ملوحة مياه البحر

مياه البحر النموذجيّة ذات ملوحة (مواد صلبة كلية ذوّابة) قدرها 35000 mg/l منها 30000 mg/l NaCl. تبلغ معايير النوعية المقبولة عموماً لمياه الشرب 500 mg/l من المواد الصلبة الكلية الذوّابة و200 mg/l من الكلور. ومن ناحية الكلفة، يعتبر التقطير منافساً لإزالة ملوحة مياه تغذية رافدة ذات محتوىً ملحيٍّ عالٍ، نظراً إلى أن هذه العملية تعمل افتراضياً، باستقلالية عن تركيز المواد الصلبة الموجودة في التدفّق الداخل. وفوق ذلك فإن التوصل لنقاء للمياه الناتجة يقل عن 100 mg/l سهل.

يتضمّن التقطير تسخين مياه التغذية إلى نقطة الغليان، ثم التبخير للحصول على بخار ماء، ثم التكثيف للحصول على ماء خال من الأملاح. والعملية التجارية

الرئيسة في ذلك هي تقطير سريع متعدد المراحل، الأمر الذي يعني توظيف سلسلة وحدات تبخير – تكثيف للحصول على إعادة استخدام المحتوى الطاقي للبخار الحار. وقد يصل عدد المراحل إلى 15-25 مرحلة.

والتقطير السريع متعدد المراحل موضّحٌ تخطيطياً في الشكل 7-42. تدخل مياه البحر إلى المحطة بعد أن يتم تسخينها أولاً في وحدة استرداد حراريٍّ، يتم فيها تبريد الماء الناتجة الساخنة التي أُزيلت ملوحتُها وكذلك طرح المياه المالحة المنبوذة. تُمزج مياه البحر المسخّنة مع المياه المالحة المدوّرة وتمرّر في سلسلة من أنابيب تكثيف في غرف التبخير لتسخينها إلى درجات أعلى. وفي عملية تكثيف البخار لتقطير (المياه المُزالة ملوحتها)، تُزاد درجة حرارة المياه المالحة على مراحل، إذ تكون T_{in} عند دخولها سخان المياه المالحة. وفي هذه الوحدة، تُرفع درجة حرارة المياه المالحة بواسطة مصدر حراري خارجي إلى ما دون درجة حرارة الإشباع تماماً T_{max} تحت ضغط P_{max}. يتم بعد ذلك طرح المياه المالحة وتصريفه عبر سلسلة من المراحل، كلٌّ منها تحت ضغط أخفض من ضغط المرحلة السابقة. بحيث يكون $P_1 < P_{max}$، $P_2 < P_1$ وهكذا دواليك. ونظراً إلى تراجع الضغط، فإن جزءاً من التغذية المسخّنة سيتحوّل بشكل سريع إلى بخار في كل مرحلة ليصل إلى التوازن مع شروط البخار السائدة في كل مرحلة على حدة. وينتج من ذلك هبوط في درجة الحرارة في كل مرحلة (مثلاً T_{max} تهبط إلى T_1 و T_1 تهبط إلى T_2)، لتصل إلى T_n في المرحلة النهائية. إن الهبوط الكلي في درجة الحرارة يكون عادةً من T_{max} البالغة 250°F إلى T_n البالغة 00°F1. إن جزءاً من إعادة دوران المياه المالحة التي تنتقل بسرعة في كل دورة يقتصر على 0.10% إلى 0.15%. ولذلك، فلإنتاج المعدّل المرغوب من المياه المقطرة، يتطلب الأمر معدّلاً أدنى لإعادة دوران المياه المالحة قدره 10، وهو يبلغ بذلك 6.6 أضعاف معدّل إنتاج المياه المالحة. قد تحتوي المياه المالحة المنبوذة في خط تغذية إعادة الدوران، على mg/l 70000، انطلاقاً من مياه بحر محتواها 35000 mg/l.



شكل 7-42: غرف تقطير سريع متعدد المراحل

إن المتحوّلات الناظمة لإنتاج كل من المياه المُزالة ملوحتها واستهلاك الطاقة هي هبوط درجة الحرارة المسموح به في كل مرحلة، الفرق بين درجة حرارة المياه المالحة الداخلة إلى المرحلة الأولى ودرجة حرارة طرح التصريف عند النهاية (المجال العام للانتقال السريع من مرحلة إلى مرحلة)، ومعاملات انتقال الحرارة للمراحل. تنتج فقودات حرارة لا مفر منها، عن انتقال سيّئ للحرارة في أنابيب التكثيف والمبادلات الحرارية. تتضمّن الفقودات الأخرى تهوية سيئة تتسبب بتغليف البخار لسطوح أنابيب التكثيف، وتُلف الأنابيب بسبب تشكّل القشور. يتجاوز استهلاك الطاقة في التقطير على الدوام الحدّ النموذجيّ النظريّ الأدنى. وترتبط كفاءة منشأة محدّدة بعوامل التصميم كعدد المراحل مثلاً.

7-29 مصادر الفضلات في معالجة المياه

تختلف خصائص وكميات فضلات محطة معالجة مياه بشكل كبير تبعاً لمصدر المياه وأنواع عمليات المعالجة. تتضمّن معظم المحطات أنظمة تخثير وترشيح لإزالة العكورة، والمُمرضات، وإزالة العسرة بالترسيب لتخفيف العسرة. تتأتّى مخلفات معالجة المياه من الترسيب والترشيح لمياه مُحسّنة كيميائياً. ينتج من

التجهيزات بالمياه السطحية نفايات تحتوي على مادة غرويّة أُزيلت من المياه الخام، وكدرات كيميائية. أما رواسب معالجة المياه الجوفية فهي مواد فلزية مع أو من دون مواد عضوية، يتباين تركيب الحمأة بشكل كبير اعتماداً على طبيعة مصدر المياه والمواد الكيميائية المُضافة في أثناء المعالجة.

فضلات التخثّر

تتضمّن الطريقة التقليدية للتعامل مع التجهيز بمياه عكرة ترسيباً مسبقاً لتقليل المواد الصلبة القابلة للترسب، وتخثيراً بالألومينا، وترشيحاً لإزالة الغرويات، وإضافة الكربون المنشّط من أجل الطعم والرائحة، والكلورة للتعقيم. تتكون توضعات الترسيب المسبق من الطميّ والحطاميات، أما حمأة حوض الترسيب فهي مزيج من مواد خاملة، ومواد صلبة عضوية، وترسبات كيميائية متضمنة هيدروكسيدات معدنية، في حين تحتوي مياه الغسيل المرتدّ للمرشح كدرات من غرويات متجمّعةً متعنقدةً وهيدروكسيدات مخثّرة لم تُستهلَك في التفاعل. تُقدّم غالباً لمياه البحيرات والأحواض المائيّة جرعات من الشبّة ومساعدات التخثّر، إضافة إلى الكربون المنشّط. وقد يتضمّن الترسيب في أثناء الصيف كميات معتبرة من الطحالب.

نفايات المياه السطحية متباينة للغاية تبعاً لتغيرات نوعية المياه الخام. وتتسبب العكورة العالية للجريان السطحي خلال الربيع وفترات الهطول المطري الغزير بتناقص النسبة المئوية لهيدروكسيد الألمنيوم الصلب. ونتاجُ ذلك رواسب أفضل استقراراً وترسباً وأسهل انتزاعاً للمياه منها. تؤثّر تغيرات درجة حرارة الماء في نمو الطحالب في التجهيزات بالمياه، وفي معدّل التفاعلات الكيميائية في المعالجة، وفي قدرة ترشيح الحمأة. ويجب في أثناء تصميم نظام تعامل مع النفايات، تحرّي التغيّرات في نوعية الحمأة والتغيرات المصاحبة في خصائصها عبر دراسات طويلة الأمد للسجلات اليوميّة والفصلية.

يمكن تقدير إنتاج الحمأة من معالجة المياه السطحية من خلال كميّات الإضافات الكيميائية وخصائص المياه الخام. واستناداً إلى بيانات تجريبية، فإن 1

mg من الشبّة الصناعية المُضافة كمخثرٍ تنتج 0.44 mg من راسب الألمنيوم، والذي يبلغ تقريباً ضعفي المقدار النظري البالغ 0.26 mg (المعادلة 7-5). إن العلاقة الملاحظة بين عكورة المياه الخام/ والمُعبّر عنها بواحدات العكورة النيفلومترية (NTU)، ويتراوح وزن الشوائب المُزالة بين 0.5 mg/(NTU) و2، بقيمة متوسطٍ تبلغ 0.74. وتستند المعادلة الآتية إلى تقدير إنتاج المواد الصلبة في الحمأة الجافة عبر التخثير بالشبّة على البيانات التالية:

المواد الصلبة الكليّة في الحمأة lb/mil gal

$$= 8.34\ (0.44 \times \text{جرعة الشبّة} + 0.74 \times \text{العكورة}) \qquad \textbf{(37-7)}$$

تترسب أغلبية المواد الصلبة في الحمأة بواسطة الثقالة في أحواض الترسيب، ويتم إزالة الباقي بترشيح لاحق. يعتمد مقدار الجزء غير القابل للترسيب على أنواع الشوائب في المياه وعلى نوع المواد الكيميائية التي استخدمت في التخثير. تبلغ النسبة المئوية للحمأة 1 إلى 2، ومحتوى المواد الصلبة في مياه فلتر الغسيل أقل من 0.05. يمكن زيادة التثخين الثقالي للحمأة المترسبة ومياه الغسيل المرتد من تخثير الشبّة، في المروّق – المثخن بنسبة 2% إلى 6%.

مخلفات إزالة العسرة بالجير ورماد الصودا

إن حمأة إزالة العسرة الناتجة من معالجة المياه الجوفية تحوي كربونات الكالسيوم وبمقدار أقل بكثير هيدروكسيد المغنزيوم. وقد يوجد فيها هيدروكسيد الألمنيوم ومساعدات مخثرات أخرى إذا تمت إضافتها في أثناء معالجة المياه. تعتمد كمية $Mg(OH)_2$ على كمية عسرة المغنزيوم في المياه الخام وعلى عملية إزالة العسرة المُستخدمة، والمواد الصلبة الجافة مكوّنة عموماً من $CaCO_3$ بنسبة 85% إلى 95%. وتكون الفضلات مستقرة وكثيفة وخاملة ونقية نسبياً، ذلك لعدم احتواء المياه الجوفية على مواد عضوية أو لاعضوية. تندمج كربونات الكالسيوم بسرعةٍ بينما يبقى هيدروكسيد المغنزيوم وهيدروكسيد الألمنيوم جيلاتينيّ القوام ولا يتصلبِ

ولا ينزع منهما الماء بسهولة. أما الروبة التي تطرحها المكدرات – المروّقات (وحدات الانسياب للأعلى) فذات محتوىً من المواد الصلبة يتراوح بين 2% و5%. وبالأخذ باعتبارات اتحادات العناصر الكيميائيّة، نجد من المعادلة 7-38، إنه من كل رطل (باوند) من الجير المُضاف، يترسب 3.6 باوند من كربونات الكالسيوم، بينما في الممارسة العملية الواقعية، يقارب ناتج المواد الصلبة من إزالة العسرة 2.6 باوند/ باوند، وذلك بسبب كون التفاعل الكيميائي غير مكتمل، ووجود الشوائب في الجير التجاري، وترسب كميات متباينة من المغنزيوم.



$$CaO + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3 + H_2O \qquad \textbf{(38-7)}$$

يمكن تقدير كمية المخلّفات الجافة الناتجة من إزالة العسرة كما هي محسوبة في المثال 7-21 بحسابها باستخدام المعادلات 7-19 و7-23.

مخلفات الحديد والمنغنيز

إن أكاسيد الحديد والمنغنيز المُزالة من المياه الجوفية عبر التهوية والأكسدة الكيميائية عبارة عن جسيمات متخثّرة ذات قدرة على الترسب ضعيفة. وكمية الحمأة الناتجة من إزالة هذين المعدنين قليلة نسبياً بدون إزالة عسرة بالترسيب المتزامن. تمر أغلبية أكاسيد الحديديك والمانغانيك المميهة عبر خزّانات الترسيب ويتم إمساكها في المرشحات، وتظهر في مياه الغسيل المرتد المخفّفة.

مياه غسيل المرشح

حجم مياه الغسيل المرتدّ للمرشح كبير نسبياً وذو محتوىً من تركيز المواد الصلبة يبلغ 100 mg/l إلى 400. والكمية الدقيقة للمياه المُستخدمة في الغسيل المرتد تابعة لنمط نظام المرشح، وتقنية التطهير، ونوعية ومصدر المياه الخام قيد المعالجة. وعموماً يستخدم ما نسبته من2% إلى 3% من المياه المعالجة في المحطة لغسيل المرشحات. تعتمد نسبة المخلّفات الكليّة الصلبة المُزالة بالترشيح على كفاءة التخثير ومراحل الترسيب، ونمط نظام المعالجة، وخصائص المياه الخام. والكمية قد تكون جزءاً كبيراً، قد يصل إلى 30% من المواد الصلبة الناتجة من المعالجة.

مثال 7-21

تخثّر محطة معالجة مياه سطحيّة، مياهاً خاماً ذات عكورة قدرها 9 وحدات، وذلك باستخدام جرعة شبّة قدرها 30 mg/l. قُدّر النتاج الكلّي للمواد الصلبة في الحمأة مقدراً بـــ lb/mil gal من المياه المُعالجة. احسب حجم الحمأة القادمة من حوض الترسيب ومياه الغسيل المرتد للمرشح، باستخدام تركيز قدره 1.0 للمواد الصلبة في الحمأة و500 mg/l من المواد الصلبة في مياه الغسيل، مفترضاً أن 30% من المواد الصلبة الكليّة قد أزيلت في المرشح.

الحل

باستخدام المعادلة 3-37 نجد أن

المواد الصلبة الكليّة

$$= 8.34\,(0.44 \times 33 + 0.74 \times 9) = 166 \text{ lb/mil gal}$$

المواد الصلبة في الحمأة

$$= 0.70 \times 166 = 166 \text{ lb/mil gal}$$

المواد الصلبة في مياه الغسيل المرتد

$$= 0.30 \times 166 = 50 \text{ lb/mil gal}$$

$$\text{الحجم} = \frac{\text{المواد الصلبة في الحمأة(lb)}}{8.34 \times \text{جزء المواد الصلبة}}$$

(lb/gal)

$$\text{حجم الحمأة} = \frac{116}{\frac{1.0}{100} \times 8.34} = 1390 \text{ gal/mil gal}$$

$$\text{حجم مياه الغسيل} = \frac{50}{\frac{500}{1000000} \times 8.34} = 12000 \text{ gal/mil gal}$$

مثال 7-22

احسب كمية المخلفات الناتجة من إزالة العسرة بجير فائض للمياه المحدّدة بالجدول التالي: الحمأة القادمة من حوض الترسيب ومياه الغسيل المرتد

الحل

مكوّنات الماء			الراسب الناتج	
الصيغة	meq/l	المعادلة القابلة للتطبيق	$CaCO_3$ meq/l	$Mg(OH)_2$ meq/l
CO_2	0.40	19-7	0.40	0
$Ca(HCO_3)_2$	2.0	20-7	4.00	0
$Mg(HCO_3)_2$	0.70	21-7	1.40	0.70
$MgSO_4$	0.51	22-7 و 23-7	0.51	0.51
جير فائض	1.25		1.25	0
			7.56	1.21
ناقصاً الحدود العملية (الذوبان)			0.60-	0.20-
			6.69	1.01

المتبقي $= Mg(OH)_2 + CaCO_3$

$= 6.90\times\ 50 +\ 29.2\ \times 1.01\ =$ mg/l 378

30-7 اختيار عمليات لمخلفات معالجة الماء

تنظم قوانين الولاية وتراقِب تلوّث المياه السطحية والمياه الجوفية المتأتّي من طرح نفايات معالجة الماء، وذلك بتفويض من EPA. وعموماً فإن المياه المرشّحة مثل مياه الغسيل المرتدّ من المرشحات والمياه الفائضة عن عمليات فصل المواد الصلبة، والتي أُخضِعت للترسيب، يمكن أن تُطرح لتُصرف في المياه الجارية شريطةَ أن لا تتعدى معايير نوعية مياه الجداول. أما الحمأة فبعد فصل الجزء الطافي فوقها، يتم طرحُها غالباً عبر استخدامها في الأرض. وقد تطرح محطات معالجة المياه صرفَها في المجاري الصحيّة أو تدفعها مباشرة إلى محطة معالجة

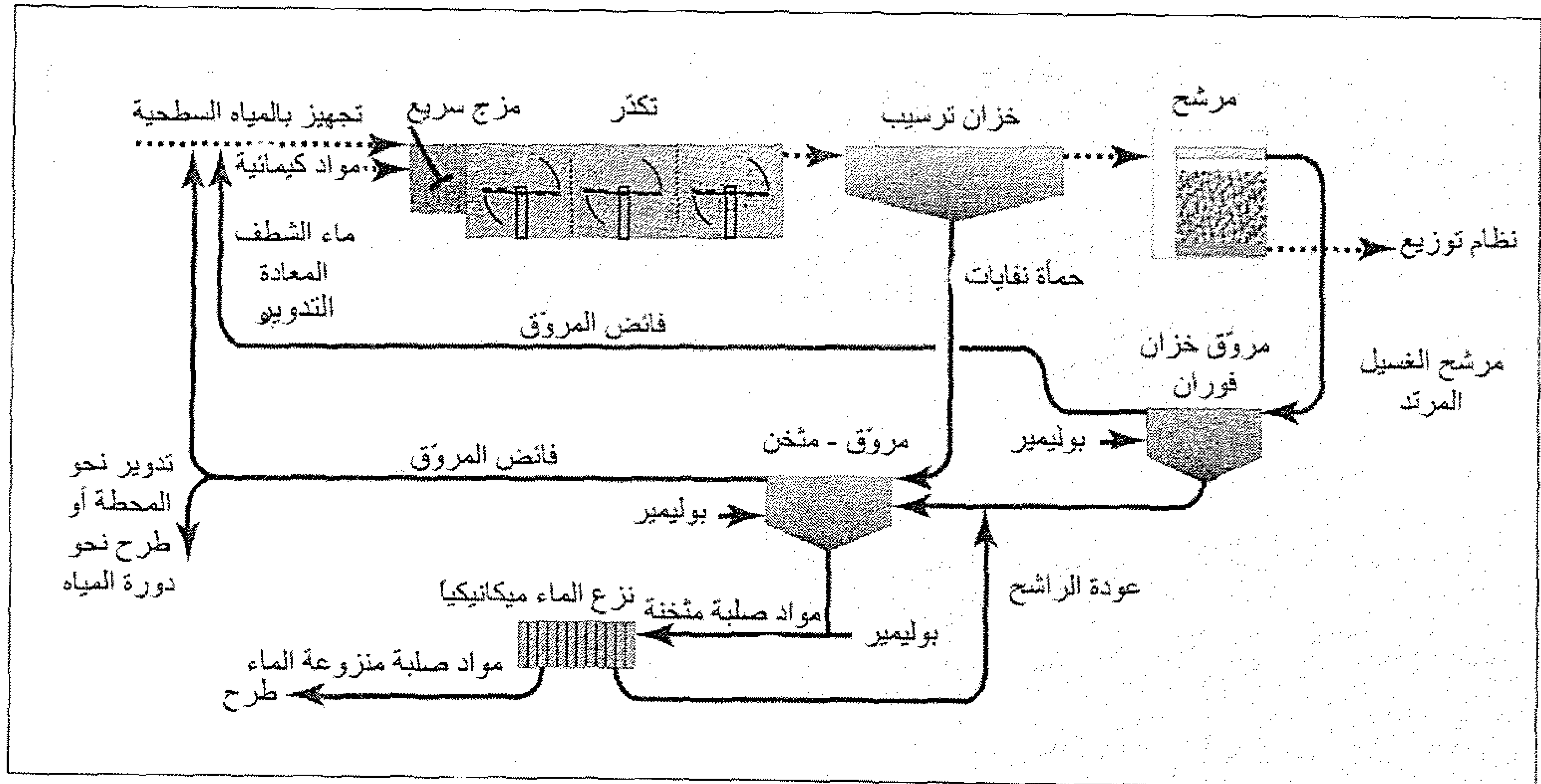
مياه الصرف، شريطة أن تكون مياه الصرف مستوفيةً لمتطلبات المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعيّ.

يمكن تعديل عمليات معالجة المياه لتغيير خصائص المخلفات وإنقاص كمياتها. تخفض البوليميرات المُستخدمة كمساعدات تخثّر من جرعات الشبّة والمواد الكيميائية المساعِدة المطلوبة. وينتج من ذلك حمأةً أقل، ما يسهل بالتالي نزع الماء منها بسبب المحتوى المنخفض لراسب الهيدروكسيد. كما تحسّن البوليميرات الترسيب المسبق لماء نهر عكر، ومن ثم التحكّم بالمواد الصلبة المُرحلة إلى التخثّر الكيميائي اللاحق. يمكن استخدام إضافات من الغضاريات المصنّعة خصيصاً للمساعدة في تخثّر التجهيزات بالمياه السطحية الصافية نسبياً، وذلك عبر إنتاج كدرات أكثف تترسّب بشكل أسرع. ينبغي اعتبار مساعدات التخثّر مع الشبّة، تقنيةً رخيصةً لتعديل عمليات التعامل مع الحمأة في محطات المياه السطحيّة. يمكن لمحطات إزالة عسرة المياه الجوفية أن تعدّل أيضاً أسلوب تشغيلها لتخفيض أحجام حمأة النفايات. ينبغي التركيز على الحؤول بدون ترسب هيدروكسيد المغنزيوم لأنه يعيق قدرة انتزاع الماء. كما إن الحد من إنقاص عسرة الماء ينتج مواد صلبة أقل، مع الاستمرار بالتجهيز بمياه مستساغة مقبولة من عموم الناس.

إن العمليات الشائعة لحفظ ومعالجة وطرح حمأة معالجة الماء مدرجة في الجدول 7-7. كل منشاة مائيّة تعتبر متفرّدة، لكون الظروف المحلية والمرافق القائمة تميل إلى التحكم بالتقنيات المطبقة في معالجة وطرح النفايات الصلبة.

تطرح المروّقات الحديثة المجهزة بكاشطات ميكانيكيّة الحمأة بفواصل زمنيّة منتظمة تكون عادةً يومية. وفي ما يتعلق بالتخزين، يمكن إشادة خزّانات منفصلة لحفظ الحمأة قبل نزع الماء منها. يتم عادةً حفظ مياه غسيل المرشحات المرتد في المروّقات – المكدرات والتي تخدم كخزانات حفظ مؤقّتة وكأحواض ترسيب مياه الغسيل. إن معادلة الحمأة وترسيبها هما فقط الشرطان المطلوبان لمعالجتها في محطة معالجة مياه الصرف المدنيّة، وذلك في ما لو طُرِحَت في المجارير.

يظهر الشكل 7-43 مخططاً تصويرياً لنظام نموذجي للتثخين والتخثير ومرشح مياه غسيل. إن المصدرين الرئيسين للنفايات هما الحمأة المتأتية من المروّق الذي يلي التخثير الكيميائي، ومن مياه الغسيل المتأتية من الغسيل المرتد. وهذه المياه الأخيرة تُطرح إلى خزّانات حفظ مروّقة لفصل المواد الصّلبة جاذبياً ولمعادلة الانسياب. تندمج المواد الصلبة المترسّبة لتصل إلى حجم الحمأة والذي يقل عن عُشر حجم مياه الغسيل. يسحب الجزء الطافي ببطء ويُعاد تدويره إلى داخل المحطة. وبعد أن يتم ارتشاح جزء كاف ، يصبح خزان الحفظ قادراً على استقبال الدفقة التالية من الغسيل المرتد. تخضع الحمأة المترسبة المتأتية من كل من خزّانات مياه الغسيل ومن المروّقات المتتابعة، لمرحلة ثانية من الاندماج في المروّق – المثخّن. ويضاف عادةً بوليمير لتحسين إمساك المواد الصلبة، أما الفائض فيتم تدويره، ويتم سحب الحمأة لانتزاعٍ أكثر للمياه منها ومن ثم طرحها.



شكل 7-43: مخطط لمحطة معالجة مياه يظهر عمليات التثخين ونزع الماء لحمأة الشبّة

يمكن للمواد الطافية على مياه الغسيل المدورة وكذلك الفائض المدوّر دون معالجته، أن تُرجع العضويات المجهرية الممرضة (مثل كييسات اللامبيليا وبيوض الكريبتوسبوروديوم)، والأسلاف العضوية والنواتج الجانبية للتعقيم إلى المياه الخام الداخلة. إن لقانون تدوير مياه الغسيل المرتدّ للمرشحات الموضوع من قبل EPA

شرطين رئيسين. أولهما أن تقوم محطات الترشيح المباشر والمحطات التقليدية بالتدوير إلى موقع في بداية المحطة بحيث تنساب المياه المدوّرة عبر كافة عمليات المعالجة. وثانيهما أن تقوم محطات الترشيح المباشر والمحطات التقليدية التي تقوم بالتدوير، بإشعار الوكالة القانونية للولاية كتابياً، وتقديم تقاريرٍ عن أساليب التدوير الممارسة في المحطة، والاحتفاظ بسجلاتٍ عن التدوير المنفّذ. ويسري القانون المذكور على كافة الانسيابات المدورة، بما فيها مياه الغسيل المرتد للمرشحات، الجزء الطافي المتأتي عن تثخين الحمأة، ومياه الصرف الناتجة من نزع الماء من الحمأة.

إن التثخين بالثقالة أبسط وأرخص عملية دمج وتماسك لحمأة الصرف. يمكن دمج ورص مخلفات معالجة المياه المتأتية من الترسيب ومن الغسيل المرتد للمرشح، بفاعلية عبر الفصل بالثقالة (شكل 7-43). يشبه شكل خزان المثخن ثقالياً، شكل المروّق الدائري باستثناء يتمثّل بأن نسبة العمق – القطر أكبر، وبأن القاع القمعي أشدَّ ميلاً. يتباين أداء المثخّنات في التعامل مع نفايات محطات معالجة المياه، تبعاً لطبيعة المياه قيد المعالجة وللمواد الكيميائية المُستخدمة. تترسب الحمأة الناتجة من تخثّر المياه السطحية بالشبّة، وتتراوح كثافة المواد الصلبة فيها بين 2% و6%. يتثخّن مزيج من التخثير – إزالة العسرة متأتٍ من معالجة مياه نهر عكر بواسطة الثقالة كالآتي: حمأة شبّة – جير، 4% إلى 10%، ترسيب حديد – جير، 10% إلى 20%، مياه غسيل مرشح شبّة – جير، حوالى 4%، وغسيل مرتد حديد – جير يصل حتى 8%. ترتبط الكثافة التي يتم التوصل إليها عبر تثخين الثقالة، بنسبة الكالسيوم – مغنزيوم في المواد الصلبة، وكمية الشبّة، وطبيعة الشوائب المُزالة من الماء الخام، وبعوامل أخرى. تندمج بقايا كربونات الكالسيوم الناتجة من إزالة عسرة المياه الجوفية وتتماسك لتتراوح نسبة المواد الصلبة فيها بين 15% و25%. وفي معظم الحالات، يتوجّب إنجاز دراسات خاصة على مشاريع مائيّة محدّدة لتقدير قابلية المواد الصلبة على الترسب في حمأة النفايات ومياه الغسيل. وفي معظم الأحوال يتم استخدام مساعدات التكدر لتحسين الترسيب.

جدول 7-7: عمليات تخزين، ومعالجة، وطرح حمأة معالجة الماء

تخزين قبل المعالجة
أحواض ترسيب
خزانات حفظ منفصلة
أحواض مكدّر - مروّق
تثخين قبل نزع الماء
ترسيب جاذبي
تحسين كيميائي قبل نزع الماء
استعمال بوليمير
إضافة جير إلى حمأة الشبّة
نزع ميكانيكي للمياه
نبذ
ترشيح ضغط
تجفيف هوائي
لاغونات ضحلة
طبقات تجفيف رملية
طرح المواد الصلبة المنزوع منها الماء
طرح مشترك في ردم ترابي النفايات الصلبة
دفن في أمكنة ردم مخصصة
طرح للحمأة السائلة وللحمأة منزوعة الماء
نشر فوق الأراضي الزراعيّة
وضعها على مواقع طرح سطحية مخصصة

يمكن إنجاز نزع ميكانيكي للحمأة الكيميائية بالنبذ أو بترشيح ضغط الصفيحة والإطار، وفي بعض الأحيان، بترشيح ضغط مرشح السير الناقل. إن المزيّة الأساسية للنابذة المُصفّية ذات التجاويف المصمتة هي مرونة تشغيلها. تؤثّر متحوّلات هذه الآلة، مثل سرعة الدوران، والسماح بمجال من المحتوى الرطوبي

في المواد الصلبة التي تم طرحها والتباين بين كعكة جافة وروبة ثخينة. إن معدّلات التغذية، ومحتوى الحمأة من المواد الصلبة، والمُحسّنات الكيميائية أيضاً، متحوّلات على أدائها. تضاف عادةً البوليميرات أو مساعدات التخثّر مع تغذية الروبة، لتحسين إمساك المواد الصلبة. تندمج وتتراص حمأة الجير بسهولة منتجة كعكة صلبة، بينما لا يتم نزع الماء بسهولة من حمأة الشبّة بالسهولة نفسها، ويتم طرحها بعد إيصالها إلى درجة كثافة تماثل كثافة معجون الأسنان، تمكن إما من إخضاعها لمعالجة لاحقة أو من نقلها بالشاحنات إلى موقع الطّرح. تتباين إزالة المواد الصلبة بواسطة النبذ عبر مجال عريض، تبعاً لظروف التشغيل والتحسين الكيميائي، وعموماً فإن مردودية المواد الصلبة وكثافة الكعكة مرتبطة بجرعة البوليمير.

إن مرشح ضغط الصفيحة والإطار مفيد على وجه الخصوص لنزع الماء من حمأة الشبّة، إن كان مرغوباً الحصول على تركيز عال من المواد الصلبة في كعكة المرشح. تكون نفايات هيدروكسيد الألمنيوم محسّنة غالباً بالجير، وذلك لتحسين قدرتها على الترشيح. يتم تغليف وسط المرشح مسبقاً إما بتربة مشطورات (صخور رسوبية فتاتية مساميّة مكوّنة من قواقع المشطورات) أو بالرماد الأسود المتطاير، وذلك قبل العمل على استخلاص المواد الصلبة في الحمأة. يحول التغليف المسبق بدون حجب نسيج المرشح بالمواد الناعمة، كما يضمن طرحاً سهلاً للكعكة بدون التصاق. ويمكن بتحسين كيميائي مناسب أن تضغط حمأة الشبّة لتغدو كتلةً صلبةً متماسكةً. يمكن لضواغط مرشح السير الناقل أن تنزع الماء من حمأة الشبّة بنسبة 15% إلى 20% ومن حمأة الجير بنسبة 50% أو أكثر عبر التحسين بالبوليميرات.

إن النشر في اللاغونات طريقة مقبولة لنزع الماء، وللتثخين، وللتخزين المؤقت لحمأة النفايات، وذلك إن توفرت مساحة أرض ملائمة. ترتبط مساحة البركة المطلوبة المزودة بحواجز على طبيعة الحمأة، والمناخ، وسمات التصميم

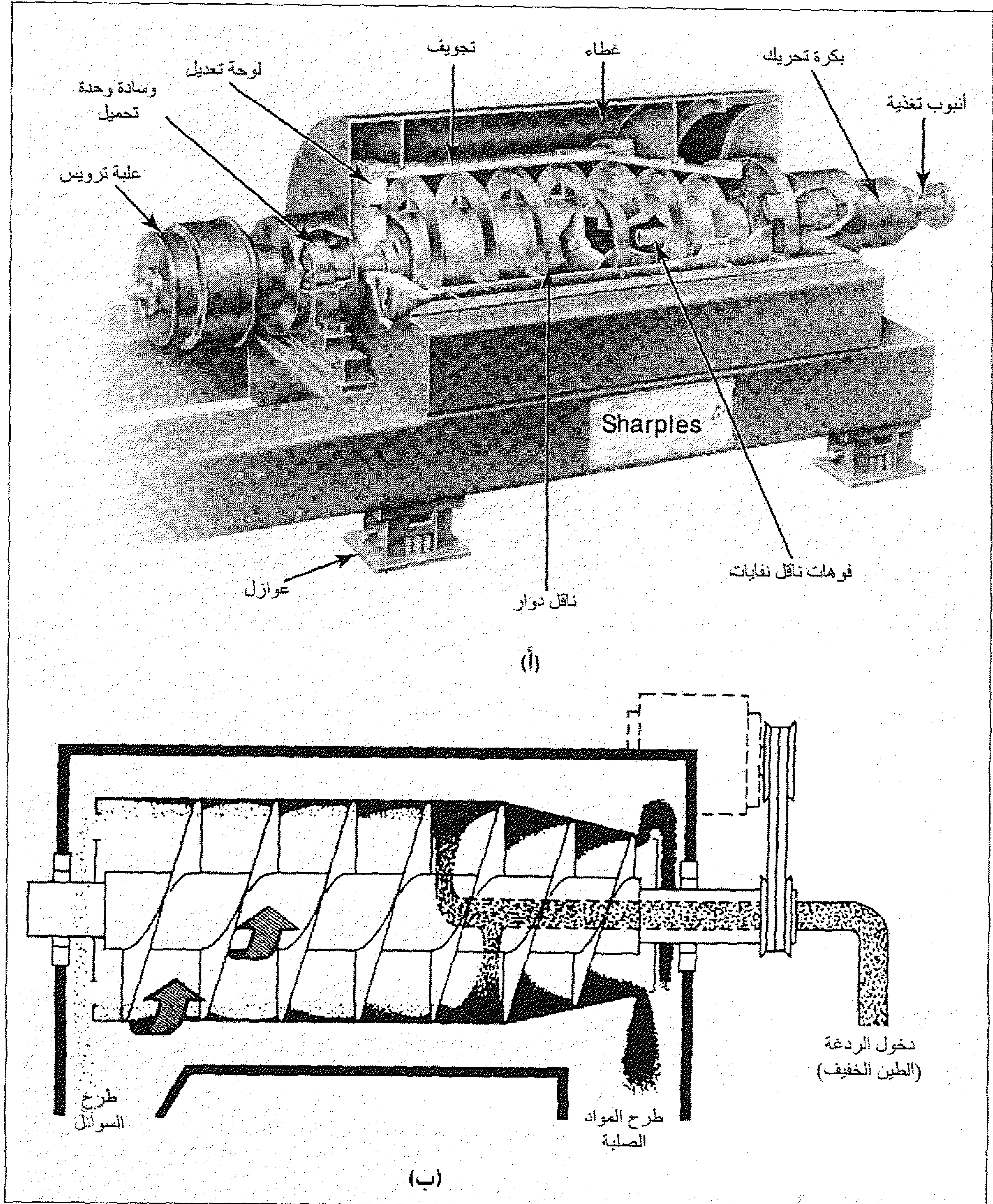
مثل الارتشاح السفلي، والمروّقات، وطريقة التشغيل. ويمكن إعادة الفائض المصفى إلى محطة المعالجة، وبخاصة إن كانت مياه غسيل المرشح موجهةً مباشرةً إلى اللاغونات من دون تثخين أولي.

تندمج الحمأةُ المتأتّية من إزالة عسرة الجير وتتماسك لتصل درجة احتوائها 50% من المادة الصلبة بعد التجفيف بالتبخير، ويمكن إزالتها بكاشط أو بجرافة سلكيّة ونقلها إلى منطقة دفنها بمقلب دفن النفايات. ترتشح حمأة الشبّة وتجف ببطء أكثر لتصل كثافتها إلى 10% إلى 15%. وبالرغم من أن السطح قد يجف لكي يغدو قشرةً قاسيةً، تتحوّل الحمأة التي تقع أسفل منها إلى سائل لزج عند إثارتها. يجب إزالة هذه الروبة، ويتم ذلك عادةً بجرافة سلكية وتُنشر على الضفاف لتجف هوائياً قبل نقلها. يحسّن التجمد كفاءة إزالة مياه حمأة الشبّة عبر تحطيمه لطبيعتها الجيلاتينية. ويمكن تجفيف الحمأة هوائياً في محطات المياه الصغيرة بنشرها على طبقات رمل فوق قرميد ارتشاح سفلي. يمكن القيام بإضافات متكرّرة للحمأة على مدى بضعة أشهر لثخانة تصل لبضعة أقدام. ويقوم فعل نزع الماء على الارتشاح والتجفيف الهوائي، بالرغم من أن العملية قد تتضمّن إزالة الجزء الطافي بالترسيب. تُزال الكعكة الجافة إما بجرفها يدوياً بالرفش أو بوسائط ميكانيكيّة. لا تشكّل حمأة الجير ولا حمأة الشبّة ردماً أرضياً مستقراً جيداً.

7-31 وصف النبذ

إن النابذة المُستخدمة عادةً في نزع مياه حمأتَي الماء ومياه الصرف، هي من نمط التجاويف المصمتة الموضحة في الشكل 7-44. حيث تتألف من تجويف مصمت دوّار ذي شكل أسطواني تنتهي إحدى نهايتيه بمقطع مخروطي، وناقل يعمل كلولب داخليّ الدوران. تظل روبة التغذية التي تدخل من المركز عالقةً بجدران التجويف بتأثير القوة النابذة. تُزال المواد الصلبة المترسبة بواسطة الناقل إلى إحدى نهايتي التجويف بينما يُصرف الدفق الخارجي المصفّى عبر النهاية

الأخرى. يمكّن الشكل المخروطي للتجويف عند نهاية تصريف المواد الصلبة، الناقلَ من نقل المواد الصلبة إلى خارج السائل، كي يتم ارتشاحها قبل تصريفها.



شكل 7-44: نابذة تجويف مصمت دوّار. (أ) منظر لمقطع في النابذة يظهر مكوّناتها بتسمياتها. (ب) مخطط تصويري يظهر فصل روبة التغذية إلى تصريف سائل وتصريف للمواد الصلبة (موافقة من: Alfa Laval Sharples®, Alfa Laval Separation Inc.)

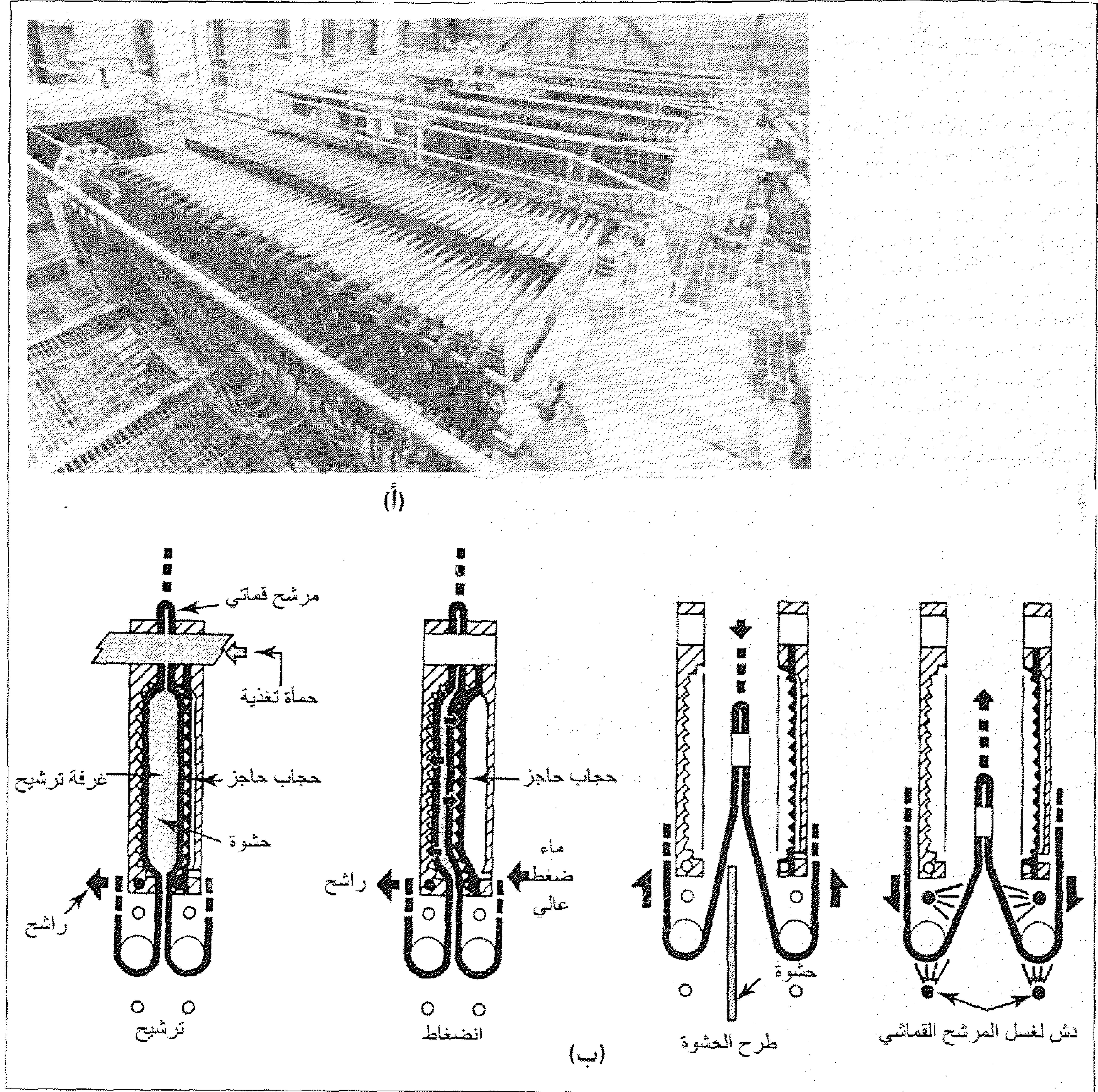
إن المزية الرئيسة لنابذة التجويف المصمت هي مرونتها التشغيلية. تتضمّن متحوّلات النابذة حجم البركة، وسرعة دوران التجويف، وسرعة الناقل. يمكن التحكّم بثخانة السائل المندفع نحو جدار التجويف بواسطة حاجز صفيحيّ قابل للضبط موجود عند نهاية طرح التصريف. إن ضبط حجم البركة يغيّر المساحة السطحية لمقطع تصريف المواد الصلبة الذي يعلو سطح البركة. تؤثّر سرعة دوران التجويف في قوى الثقالة على الجسيمات المترسبة، بينما تتحكّم سرعة الناقل بزمن الاحتفاظ. تنتج أشدّ منتجات الكعكة جفافاً عند زيادة سرعة دوران التجويف، وعندما يكون عمق البحيرة في أدنى حد مسموح، وعندما تكون السرعة التفاضلية بين التجويف والناقل أقصى ما يمكن. تسمح مرونة التشغيل بالتوصل إلى مجال واسعٍ للمحتوى الرطوبي في المواد الصلبة التي تمّ طرحها، يتراوح بين كعكة جافّة وحمأة سائلة ثخينة القوام. إن معدّلات التغذية، ومحتوى الحمأة من المواد الصلبة، والمُحسّنات الكيميائية المسبقة أيضاً متحوّلات تؤثّر في الأداء. يمكن تحسينَ إزالة المواد الصلبة بإضافة البوليميرات أو مخثرات أخرى إلى تغذية الروبة. ويتطلب عمل النابذة الحلزونية إشرافاً محدوداً.

تستخدم النابذات في نزع الماء من حمآت محطات المعالجة المسحوبة من خزّانات الترسيب أو مثخنات الحمأة بالثقالة. تندمج حمآت الجير وتتراصّ بسهولة منتجةً كعكةً صلبة، ذات محتوى 50% من المادة الصلبة اعتباراً من تغذية ذات 5% إلى 10% كمادة صلبة. وهكذا تُستخدم النابذات لنزع الماء من حمآت إزالة العسرة بالجير، وذلك تحضيراً لإعادة التلكس. وبالرغم من أن حمآت هيدروكسيد الألمنيوم لا يُنزع منها الماء بالسهولة نفسها لنزع ماء رواسب الجير، إلا أن النبذ مع إضافة البوليمير لمساعدة التكدّر، يوفر تصريفاً للمواد الصلبة، لزجاً وسائلاً مناسباً إمّا للمعالجة اللاحقة أو للطرح. يمكن لحمأة نصف محتواها مكوّن من هيدروكسيد الألمنيوم أن تُثخّن ليصل محتوى المواد الصلبة فيها إلى 10% – 15%، كما يمكن

لروبة محتواها من الهيدرات يقارب الثلث أن تُثخّن ليصل محتوى المواد الصلبة فيها من 20% إلى 25%. أما إزالة المواد الصلبة من التغذية، فيتراوح بين 50% و95%، تبعاً لظروف التشغيل وجرعة البوليميرات. فإن تمّ تثبيت كافة المتحوّلات الأخرى فإن النسبة المئوية لمردوديّة المواد الصلبة وكثافة التصريف المثخّن تتعلق مباشرة بجرعة البوليميرات.

7-32 وصف ترشيح الضغط

إن ضغط ترشيح الصفيحة والإطار هو نمط مرشح ضغط تم اعتماده لنزع الماء من الحمآت الكيميائيّة. يتكون هذا المرشح من سلسلة من الصفائح ذات فجوات بمرشحات قماشيّة وإطارات متداخلة تربطها ببعضها بعضاً، لتشكّل حجرات مرشح مغلق. تُملأ هذه الحجرات بمواد صلبة انتُزع منها الماء عبر ضخ الحمأة تحت ضغط عال، ما يجبر الماء على الخروج عبر المرشحات القماشية. وعند نهاية دورات التغذية والضغط، تُفصل اللوحات من أجل إزالة كعكة الحمأة. إن مرشحات اللوحة والإطار، قادرة على إنتاج كعكة صلبة وجافة بلا ماء مرئي إضافة إلى راشح رائقٍ، محتواه من المواد الصلبة المعلّقة قليل جداً. وتصميما ضواغط المرشح هما الضاغط ذو الحجم الثابت، والضاغط الحاجزي ذو الحجم المتغير.



شكل 7-45: ضاغط مرشح حاجزي ذو حجم متغير لنزع مياه حمأة التصريف. (أ) تركيب أربعة ضواغط. (ب) مخططات الخطوات الأربع في التشغيل الأوتوماتيكي لضاغط حاجزي ذي حجم متغير (موافقة من: Division Ingersoll-Rand, IMPCO بالترخيص لها من قبلIshigaki Industry Company Limited)

لقد صُمم الضاغط الحاجزي ذو الحجم المتغير لتشغيل أوتوماتيكي بالكامل وذلك عبر تصريف الكعكات بالقوة بعد فتح الإطارات وغسيل قماش المرشح قبل أن يُغلق الضاغط إيذاناً بدورة جديدة. و(الشكل 7-45أ) منظر علوي لتركيب الضاغط. والخطوات في التشغيل هي تحسين كيميائي للحمأة الخام إن اقتضى الأمر، وتغليف مسبق لأوساط المرشح، ونزع مياه حمأة الضغط، وتصريف كعكات

الحمأة. يتم تغليف مسبق لأوساط المرشح بواسطة تغذية بمعلّق مائي حاوٍ على تربة مشطوريات، يمنع التغليف المسبق إعاقة قماش المرشح وتصلّبه بجسيمات الحمأة ويسمح بتصريف الكعكة مع نهاية دور المرشح. يوضّح (الشكل 7-45ب) التشغيل الأوتوماتيكي للضاغط الحاجزي متغير الحجم. يتم ضخ الحمأة إلى الحجرات ذات الفجوات بضغطٍ قدره 100 Psi (690 kN/m^2) لمدة 10 min إلى 20 min، سامحاً بذلك للراشح بالارتشاح خارج القماش على كلا طرفي الحجرة. وبعد إيقاف التغذية، تُضخ مياه تحت ضغط عالٍ إلى الفراغ بين الحاجز وأحد جانبي جسم الصفيحة. ويتم المتابعة بهذا الانضغاط مدة 15 إلى 30 دقيقة لنزع مياه المواد الصلبة المتراكمة للوصول إلى الجفاف المرغوب للكعكة. ومع نهاية فترة الانضغاط يتم تعريض خطوط التغذية بالحمأة وخطوط الراشح بتيار هواء مضغوط. بعد ذلك يُفتح الضاغط أوتوماتيكياً، ويتم تحرير الكعكة بجذبِ أقمشة المرشحات للأسفل حول أسطوانات صغيرة الأقطار. يتم غسل الأقمشة من كلا الجانبين في أثناء سحبها نحو الأعلى إلى موقعها الأصلي. يتجاوز نتاج الضاغط الحاجزي نتاج الضاغط ذي الحجم الثابت بمفهوم كتلة المادة الصلبة منزوعة الماء لوحدة مساحة المرشح لوحدة الزمن.

يبدو أن ترشيح الضغط ذي مزايا وبخاصة في تثخين حمآت الشبّة حيث يكون محتواها العالي من المواد الصلبة الأمر الأكثر طلباً. يمكن ضغط حمآت هيدروكسيد الألمنيوم، سواء بواسطة التحسن بالجير أو بالبوليمير، إلى محتوى مواد صلبة يتراوح بين 30% − 40%، وبذلك تغدو ملائمة لنقلها بالشاحنات.

7-33 طرح الحمأة منزوعة الماء

يمكن للحمأة منزوعة الماء أن تُدفن في مقلب ردم فضلات المدينة، بالرغم من معارضة سكان المنطقة لذلك. يمكن أن تكون طريقة الطّرح المشترك عبارةً عن مزج كعكة الحمأة الرطبة، إما مع الفضلات أو مع التربة. وتحت ظروف

تشغيل حمأة – مواد صلبة– فضلات، فإن الحمأة توضع على قمة طبقة الفضلات الصلبة عند جبهة العمل لمقلب ردم الفضلات ومزجها تماماً قدر الإمكان. وباستخدام الجرافات والمداحل، يمكن بعد ذلك لكل طبقة أن تُفرد وتُرصّ ثم تُغطى بطبقةٍ تربة. وينبغي ألا يتجاوز استخدام الحمأة الرطبة سعة امتزاز الفضلات. ولتفادي الصعوبات يجب إيجاد نسبة تصميم التكتل (وزن الفضلات إلى وزن الحمأة الرطبة). تحدّد قوانين الطّرح المشترك لمقالب ردم فضلات المدينة، مخلفات محطات معالجة المياه باعتبارها نفايات خطرة.

تستخدم مقالب ردم نمط واحد من المخلفات على نطاق واسع، حيث يتم نشر مخلفات محطات معالجة المياه، كمواد شبه صلبة تُغطّى بالتربة، كمواقع دفن مكرّسة لذلك. يمكن حفر خنادق بحيث تقوم طبقة طبيعيّة أو من التربة المرصوصة تكون بين قمة المياه الجوفية أو صخر الأديم والحمأة التي تعلوها. وتُقلب عادةً كتلة الحمأة في الخنادق مباشرة من شاحنات نقل، وتُستخدم تجهيزات موقع المقلب لحفر الخندق ومن ثمّ ردمه.

أما الطّرح السطحي فهو توزيع الحمأة الرطبة أو شبه الصلبة إمّا على مقلب دفن النفايات للطرح النهائي، أو كمحسنات مفيدة للتربة، مثل نفايات الجير على ترب حمضيّة. وفي عملية مزيج حمأة – تربة، يتم مزج الحمأة بالتربة وتوضع كطبقات بينيّة بين طبقات الحمأة وكذلك كطبقة نهائيّة. يمكن للغطاء النهائي المكوّن من مزيج الحمأة والتربة (تبعاً للخصائص الكيميائية للمزيج) أن يعزّز ويشجّع نمو النباتات في منطقة الحقل وبالتالي يخفّف التعرية الريحيّة والمائيّة إلى أدنى حدٍّ.

المراجع

1. *Recommended Standards for Water Works: Policies for the Review and Approval of Plans and Specifications for Public Water Supplies: A Report of the Committee of the Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State Sanitary Engineers.* Albany, NY: Health Education Service, 2003.

2. *HDR Engineering, Inc. Handbook of Public Water Systems.* 2nd ed. New York: Wiley, 2001.
3. U.S. Environmental Protection Agency, Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule. Federal Register, 63: 241: 69478 (16 December 1998).
4. *Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources.* Notes By David J. Hiltebrand and Linda Averell Wancho. Denver, CO: American Water Works Association, 1991.
5. Amendment to paragraph (8) of section 1412(b) [42 U.S.C. 300g-1(bf18)J of the Safe Drinking Water Act, SEC. 107, Ground Water Disinfection (1 August 1996).
6. *Proposed Ground Water Rule. Office of Water, EPA 815-F-00-003*, April 2000 <http://www.epa.gov/safewater/gwr.html> and Pact Sheet: Ground Water Rule <http://www.epa.gov/safewater/gwr/gwrfs.html>.
7. *HDR Engineering, Inc. Handbook of Public Water Systems.* 2nd ed. New York: Wiley, 2001.
8. Kelley, William A. and Roger A. Olson, "Selecting MF to Satisfy Regulations." *Journal of the American Water Works Association* (AWWA): vol. 91, no. 6, 1999, pp. 52-63.

مسائل

1-7 قارن بين الملوّثات التي تُزال عادةً من المياه السطحية في أثناء معالجة مياه المدينة (الفقرة 7-16) وتلك التي تُزال من المياه الجوفيّة، وذلك عبر جدولتها في قائمتين. لماذا تحتاج معالجة مياه النهر عادةً معالجة أكثر مرونة واتساعاً؟

2-7 تمّ تحليل حركية المرتبة الأولى لتفاعل أكسدة بإضافة الكلور إلى الماء في التجارب المخبريّة، سحبت العينات من وعاء تفاعل المزج التام بفواصل زمنيّة قدرها 1 min وذلك لتقدير تركيز الأيونات المعدنية غير المؤكسدة. لقد كانت بيانات أحد الاختبارات $t=$ 0 min، $C_0 =$ 0.7 mg/l،

t = 1min، C = 0.47 mg/l، t = 2، C = 0.32 mg/l، t = 3 min، C = 0.26 mg/l، t = 4 min، C = 0.19 mg/l، ارسم بيانياً قيم $\log_e C_0/C_t$ مقابل قيم t واحسب من ثم قيمة k.

3-7 تمّ تصميم مكدّر لمعالجة 10 mgd، طوله 48 ft وعرضه 52 ft وعمقه 2 ft. احسب زمن الاحتفاظ وسرعة الانسياب الأفقي عبره. هل تفي هذه القيم بمعايير المنشآت المائيّة؟ (الأجوبة =32 min > 30 min، نعم، 1.5 ft/min = 1.5، نعم).

4-7 حدِّد مواقع حجرات المزج السريع، وأحواض التكدر، وخزانات الترسيب في الشكل (7-4أ). إن كان هذا المشروع كما هو موضّح قد صُمّم لـــ 30 mgd (15 mgd لكل طرف) اعتماداً على معايير المنشآت المائيّة، فكم تبلغ أحجام المازجات السريعة، وأحواض التكدر، وخزانات الترسيب؟

5-7 احسب زمن الاحتفاظ ومعدل الفائض لحوض ترسيب ذي حجم 1.0 mgd ومساحة سطحية قدرها $12500\ ft^2$ يعالج 8.0 mgd (الأجوبة 3 h، 640 gpd/sq ft).

6-7 استناداً إلى فحوص مخبريّة، بلغت سرعة ترسب كدرة الشبّة في الماء 0.0014 ft/sec تحت درجة حرارة $10^{\circ}C$. حوّل سرعة الترسيب إلى وحدات معدّل فائض بـــ gpd/sq ft. كم يبلغ زمن احتفاظ كدرة الشبّة بالساعات كي ترسب من سطح الماء إلى عمق 10 أقدام؟

7-7 مروّقان مستطيلا الشكل، طول كلّ منهما 30 ft وعرضه 15 ft وعمق الماء فيهما 10 ft، رسّبا 0.4 mgd عقب تخثير بالشبّة. لقنوات التدفّق الخارج طول سدٍّ كلّي قدره 60 ft. احسب زمن الاحتفاظ، السرعة الأفقية للانسياب، ومعدل الانسياب الفائض فوق السدود. هل تفي هذه القيم بمعايير المنشآت المائيّة؟

8-7 مروّقان مستطيلا الشكل، طول كل منهما 27 m وعرضه 0.5 m وعمقهما 3.8 m، يرسب $6000\ m^3/d$. يبلغ طول سد التدفّق الكلّي 50 m. احسب زمن الاحتفاظ، معدّل الفائض، وحمولة السد. (الأجوبة 4.1 h، $22\ m^3/m^2 . d$، و $120\ m^3/m . d$).

9-7 احسب قطر وعمق مروّق حلقي لانسياب تصميم قدره 3800 m^3/d، استناداً إلى معدّل فائض قدره 0.0024 m/s، وزمن احتفاظ قدره 3 h.

10-7 كم يبلغ قطر وعمق الماء لمروّق حلقي مطلوبين لانسياب قدره $15000\ m^3/d$ قياساً على معدّل فائض أعظمي قدره $16\ m^3/m^2 . d$ وزمن احتفاظ قدره 4.0 h؟

11-7 تمّ تحليل انسياب مياه على طول خزان ترسيب مستطيل، وذلك عبر حقن نبضة من صبغة قفّائية في التدفّق الداخل. بلغت تراكيز الصبغة في التدفّق الخارج بفواصل زمنيّة قدرها 20 min اعتباراً من زمن حقن الصبغة كالآتي:

زمن (min)	تركيز (μg/l)	زمن (min)	تركيز (μg/l)
0	0	120	0.78
20	0.00	140	0.52
40	0.40	160	0.25
60	0.75	180	0.08
80	1.42	200	0.02
100	1.20	220	0.00

ارسم منحني توزّع زمن المكوث الظاهر في الشكل (7-7ب)، حدد موقع زمن الاحتفاظ النظري البالغ 120 min، واحسب متوسط زمن المكوث وارسمه بيانياً (متوسط موقع المركز). (الجواب t_{60} = 96 min).

12-7 درس انسياب عبر خزان ترسيب عبر حقن نبضة من صبغة قفّائية في التدفّق الداخل. يظهر الجدول التالي تركيز الصبغة في التدفق الخارج بفواصل زمنيّة قدرها 15 دقيقة و30 دقيقة اعتباراً من زمن حقن الصبغة:

زمن (min)	تركيز (µg/l)	زمن (min)	تركيز (µg/l)
0	0	135	88.0
15	0	150	78.2
30	0	180	55.2
45	3.5	210	33.5
60	16.5	240	20.0
75	46.5	270	12.1
90	72.0	300	7.5
105	89.0	330	4.6
120	95.0	360	2.6

ارسم منحني توزّع زمن المكوث كما هو ظاهر في الشكل (7-7ب) وحدِّد موقع متوسط زمن المكوث (متوسط موقع المركز).

13-7 اقترح مُكدّر - مروّق مشابه لذاك الموضّح في الشكل 7-10 للترسيب في عملية إزالة عكورة مياه جوفية بالجير ورماد الصودا. القطر الداخلي للخزان 40 ft وعمق الماء على جانبه 10 ft، وقطر الجزء السفلي القمعي 12 ft عند سطح الماء و24 ft عند القاع الذي يقع على عمق 8 ft تحت سطح الماء. بلغ انسياب التصميم لكل مكدّر - مروّق 750000 gpd. هل تفي هذه القيم بمعايير المنشآت المائيّة لأزمنة احتفاظ اعتماداً على الحجم الكلّي، وزمن المزج والتكدر، ومعدّل الانسياب إلى الأعلى بالاستناد إلى مساحة سطح الماء المكشوف (يمكن اعتبار القميص القُمعي الشكل هو الشكل الهندسي لحوض مخروطي موضّح في الملحق).

7-14 بلغت سرعة ترسب كدرة كربونات كالسيوم تشكلت خلال التكدر في مكدّر–مروّق (شكل 7-10) 2.1 mm/s فإذا كان زمن الاحتفاظ 1 h في منطقة الترسيب، وكان معدّل الانسياب إلى الأعلى 1.75 gpm/sq ft، فما هو العمق الأدنى المطلوب للمياه لضمان إزالة الكدرة بالترسيب الثقالي؟

7-15 كيف يمكن لمخطط الانسياب لترشيح مباشر أن يتباين عن مخطط الانسياب التقليدي الموضّح في المخطط التصويري في الشكل 7-1؟ ما هي القيود على نوعية الماء التي يوصى بها لاعتماد الترشيح المباشر؟

7-16 ما هي وظيفة مراقب معدّل الانسياب في تشغيل المرشح؟

7-17 كيف يمكن لجهاز قياس فقد العلوّ أن يسجّل فقد 9 ft إذا كان عمق الماء فوق المرشح 4 ft فقط؟

7-18 يُنهى تشغيل المرشح نتيجة ظروف إحدى حالتين، ما هما هاتان الحالتان؟

7-19 ما هي المزية الرئيسة لمرشح ثنائي الوسط أنتراسيت – رمل مقارنة بمرشح أحادي الوسط؟ بعد الغسيل المرتدّ، لماذا تتطبّق الأوساط بحيث يعلو فحم الأنتراسيت الرمل؟ (ارجع إلى الشكل 7–13).

7-20 ضع قائمة بأنواع الارتشاح السفلي التي تسمح بالتنظيف (أ) بالفرك الهوائي متبوعاً بغسيل مائيٍّ مرتدٍّ، (ب) فرك هوائي ومائي متزامنين متبوعاً بغسيل مائي مرتد.

7-21 صف الخطوات المتبعة في تنظيف مرشح والموضحة في الشكل 7-14 باستخدام فرك هوائي متبوعاً بغسيل مائيٍّ مرتدٍّ.

7-22 لما كان من المتعذر استخدام مسحوق مواد كيميائية مباشرة، كيف يتسنى إضافتها إلى مياه قيد المعالجة؟

23-7 لقد أدرجت نتائج عرض اختبار الارتجاج على التخثّر بالشبّة في الجدول التالي (لقد نوقش اختبار الارتجاج في الفقرة 2-11). الحاويات من 1 إلى 5 احتوت معلّق طين في مياه صنبور، أما الحاوية 6 فقد احتوت معلّق طيني في ماء مقطّر. (أ) ما أخفض جرعة موصى بها لمعالجة مثل هذه المياه؟ لماذا لم يتزعزع استقرار معلّق الحاوية 6؟

24-7 تتفاعل كبريتات ألمنيوم تجارية (الشبّة) مع القلويّة الطبيعية أو مع المواد الكيميائية للجير ورماد الصودا إذا أضيفت إلى مياه ذات عوز بالقلويّة. احسب بالاعتماد على المعادلات 7-5، 7-6، و7-7، كميات القلويّة مقدرة بالـــ mg/l، الجير بصورة CaO، ورماد الصودا بصورة Na_2CO_3 التي تتفاعل مع 1.0 mg/l من الشبّة. (الأجوبة 0.50 mg/l، 0.28 mg/l، 0.53 mg/l).

25-7 أضيفت الشبّة بجرعةٍ مقدارها 20 mg/l لتخثير مياه سطحيّة، ما مقدار القلويّة الطبيعية التي تمّ استهلاكها؟ ما هو التغيّر في الـــ pH؟ (الأجوبة 10 mg/l، تناقص)

26-7 أضيفت جرعة شبّة مقدارها 40 mg/l لتخثير مياه. (أ) ما مقدار القلويّة بـــ mg/l تمّ استهلاكها؟ (ب) ما هي التغيّرات التي حدثت في الطبيعة الأيونيّة للمياه؟ حدِّد الأيونات التي غيّرت صيغتها، وحدِّد مقاديرها بـــ mg/l (ج) ما تأثير الـــ pH في الماء؟ (الأجوبة (أ) 20 mg/l، (ب) تزيد SO_4^{--} بمقدار 19 mg/l، تنقص HCO_3^- بمقدار 24 mg/l)، (ج) تناقص في الـــ pH نتيجة تشكّل CO_2.

27-7 أضيفت جرعة شبّة مقدارها 30 mg/l وكمية محسوبة للتفاعل معها من رماد الصودا في تخثير المياه السطحيّة. ما هي التغيّرات التي تحدث في الطبيعة الأيونيّة للمياه نتيجة لهذه المعالجة الكيميائيّة؟

28-7 يتطلب تخثير مياه عذبة 40 mg/l من الشبّة إضافة إلى الجير لتعزيز القلويّة الطبيعية لتشكيل جيّد للكدرات. لقد كان مرغوباً أن يتم تفاعل 10 mg/l (بصورة $CaCO_3$) من القلويّة الطبيعية. كم تبلغ جرعة الجير المطلوبة لذلك؟

29-7 تتطلّب إزالة كييسات الجيارديا من مياه عذبة، باردة ومنخفضة العكورة، 15 mg/l من الشبّة إضافة إلى 0.10 mg/l من بوليمير أنيونيّ. (أ) كم يبلغ mg/l من القلويّة الطبيعية المُستهلَكة في تفاعل التخثير؟ ما مقدار CO_2 المتحرّر عبر هذا التفاعل؟ (ب) ما مقدار الجرعة المحسوبة كيميائياً من رماد الصودا للتفاعل مع 15 mg/l من الشبّة؟ يتسبّب التفاعل بتقليل خسارة القلويّة ولكن يستمر إنتاج ثاني أكسيد الكربون. كم يبلغ مقدار CO_2 المتحرّر من هذا التفاعل؟ هل تكون جرعة كمية محسوبة من روبة الجير أفضل من رماد الصودا؟ اقترح سبباً لعدم استخدام روبة الجير. كيف يمكن إزالة CO_2 من الماء؟

30-7 تُختّر مياه سطحية بجرعة قدرها 30 mg/l من كبريتات الحديدوز وجرعة مكافئة من الجير. (أ) كم lb من كبريتات الحديدوز لكل mil gal من الماء تتطلبها المعالجة؟ (ب) كم lb من الجير المحلمأ تتطلبها المعالجة مع افتراض درجة نقاء قدرها 70% CaO؟ (ج) كم lb من حمأة $Fe(OH)_3$ تُنتج لكل mil gal من المياه المعالجة؟

31-7 اكتب التفاعل بين كلوريد الحديديك وروبة الجير والذي ينتج منه ترسب $Fe(OH)_3$. فمن أجل جرعة قدرها 40 mg/l من $FeCl_3$: (أ) ما هي الإضافة المحسوبة كيميائياً من الجير معبّراً عنها بـــ CaO؟ (ب) كم lb من $Fe(OH)_3$ ينتج من كلّ mil gal من المياه المعالجة؟ (الأجوبة (أ) 20.7 mg/l CaO، (ب) 220 lb/mil gal).

32-7 أُضيفت جرعة قدرها 35 mg/l من $FeSO_4.7H_20$ وكمية مكافئة من الجير في أثناء التخثير. ما هي التغيّرات التي تحدث في الطبيعة الأيونيّة للمياه كنتيجة لهذه المعالجة الكيميائيّة؟

33-7 أُضيفت كمية قدرها 20.0 mg/l من كربونات الصوديوم إلى l 0.1 من الماء فتسببت بتغير pH من 7.2 إلى 7.4. كم زادت القلويّة؟ ما هي الصيغة الأيونيّة لزيادة القلويّة؟

34-7 ما هي المادة الكيميائية الأكثر فاعلية عادةً في ضبط الطعم والرائحة؟ لماذا تبدو الكلورة المسبقة الشديدة غير مرغوبة؟

35-7 يُعالج تجهيز بمياه نهر عبر سلسلة من تشغيلات لوحدة معالجة وإضافات كيميائية في القائمة التالية. عبِّر ببضع كلمات عن هدف أو أهداف كل عملية من عمليات الوحدة والإضافات الكيميائيّة.

(أ) البلمرة مع إضافة البوليمير

(ب) مزج وتكدّر مع إضافات شبّة وبوليمير

(ج) إضافة كربون منشط

(د) ترسيب

(هـ) ترشيح بوسط حُبيبي

(و) كلورة لاحقة

36-7 يتكون مخطط عمليات معالجة لمياه بحيرة من (1) مزج سريع وتكدّر (2) ترسيب (3) ترشيح، و(4) تخزين في وعاء مياه المرشح. إن المواد الكيميائية المتوافرة للمعالجة هي الكربون المنشّط، والشبّة، وكلور، وحمض الفلوروسيليسيك، والبوليميرات. في أيّ مواقع أساسية وبديلة في مخطط المعالجة يفضّل إضافة المواد الكيميائية عندها؟

7-37 ما هي فئات المواد الكيميائية التي تحتويها المواد الكيميائية الاصطناعية (SOCs)؟ في معالجة المياه السطحيّة، ما مدى كفاءة عمليات التخثّر التقليدي في إزالة (SOCs)، وإضافة مسحوق الكربون المنشّط لضبط الطعم والرائحة؟ ما هي القيود على استخدام التهوية كطريقة لإزالة المواد العضوية الطيّارة VOCs من مياه بئر ملوثة؟

7-38 ما هي الجرعة المطلوبة من حمض الفلوروسيليسيك لزيادة تركيز أيون الفلور من 0.3 mg/l إلى 1.0 mg/l؟ استخدم بيانات حمض الفلوروسيليسيك من الجدول 7-2، عبّر عن الجواب بـ mg/l وبـ lb/mil gal.

7-39 تتألف تجهيزات فلورة من مضخة تغذية تقوم بإضافة حمض الفلوروسيليسيك بدرجة نقاء 30% إلى تجهيز بالماء وذلك مباشرة من برميل شحن وُضع على ميزان ذي منصة. بلغ النقص في وزن البرميل lb 82 في أثناء معالجة 2.3 mil gal من الماء. احسب تركيز أيون الفلور المُضَاف إلى الماء بالـ mg/l

7-40 يحضر محلول سيليكوفلوريد الصوديوم بإذابة 5.0 kg من مسحوق تجاري بدرجة نقاء 98% في 95 kg من الماء، احسب معدّل التغذية بهذا المحلول لمياه قيد المعالجة لزيادة محتوى أيون الفلور إلى 0.85 mg/l. عبّر عن جوابك بعدد غرامات المحلول المضاف إلى m^3 من المياه المعالجة.

7-41 مجموعة تعدادها 10,000 نسمة ذات تجهيز بمياه جوفية ذات محتوى طبيعي من تركيز أيون الفلور الطبيعي قدره 0.2 mg/l. يبلغ الاستهلاك السنوي للمياه 550 mil gal، ومتوسط أقصى درجة حرارة الهواء على مدار العام 65 °C، ما هو تركيز الفلور الذي يوصى بالحفاظ

عليه في نظام التوزيع؟ إذا أضيف أيون الفلور باستخدام حمض فلوروسيليسيك تجاري بدرجة نقاء 25%؟. احسب وزن الحمض التجاري المطلوب بالـ lb لفلورة تجهيز التجمّع بالماء لمدة عام.

7-42 هل يقدّم كلّ من هيبوكلوريت الكالسيوم الحُبيبي وهيبوكلوريت الصوديوم السائل أيونات التعقيم نفسها كتلك الناتجة من انحلال غاز الكلور؟

7-43 لقد كانت نتائج اختبار الاحتياج للكلور على مياه خام كالآتي:

رقم العينة	جرعة الكلور	الكلور المتبقي بعد 10 min تماس
1	0.20	0.19
2	0.40	0.36
3	0.60	0.50
4	0.80	0.48
5	1.00	0.20
6	1.20	0.40
7	1.40	0.60
8	1.60	0.80

ارسم منحني احتياج الكلور كما في الشكل 7-17. ما هي جرعة نقطة الانعطاف؟ وما هو احتياج الكلور عند جرعة 1.2 mg/l؟

7-44 كم عدد الباوندات من الكلور المتاح موجودة ضمن 1 gal من هيبوكلوريت الصوديوم بقوة 15% وكم غالوناً ستتطلبه جرعة قدرها 0.6 mg/l تُضاف إلى 6.0 mil gal من الماء (الأجوبة 1.25 lb/gal، 24 gal)

7-45 كم lb من مسحوق الهيبوكلوريت الجاف ذي نسبة 70% من الكلور المتاح ينبغي إضافتها إلى 1 400 من الماء لإعداد محلول ذي 1.0%؟ (الجواب 5700)

7-46 تُضَخ مياه جوفية بمعدّل 400 gpd مباشرة في شبكة أنابيب مدينة. خلال الصيف، تعمل مضخة البئر بمعدل 18 h/d مع تغذية بالكلور يتم التحكّم بها عبر تشغيل مضخّة. تتم دراسة أنظمة الكلورة الآتية لتقديم 0.50 mg/l من الكلور إلى طرح تصريف المضخّة: (أ) كلور سائل من أسطوانات مضغوطة سعتها 100 gal عبر تغذية سائلة بواسطة مُكلوِر. (ب) محلول هيبوكلوريت الصوديوم بنسبة 10% من الكلور المتاح يتم التغذية به عبر خزان حفظ سعته 200 gal بواسطة مضخة حاجزية. (ج) مسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم بنسبة 70% من الكلور المتاح ذوّاب في الماء بنسبة 15% من الكلور المتاح في خزان سعته 50 gal بواسطة مضخة حاجزية. احسب كمية الكلور المضافة في يوم لمدة 18 h. احسب عدد الأيام التي يمكن لكل نظام من الأنظمة المذكور أعلاه تقديم الكلور فيها قبل تطلّبه تجديداً. ما النظام الذي توصي به لمناخ بارد؟ لمناخ حار؟

7-47 في معالجة 100000 h من الماء يُضاف 80 kg كلور سائل. احسب جرعة الكلور بـــ mg/l.

7-48 لماذا يحتاج مُكلِور تغذية سائلة إلى صمامات تنظيم ضغط وتعديل طرح هواء؟

7-49 استعرض الوصف الكتابي والرسم التوضيحي لمضخة حاجزية إلكترونية ذات إزاحة إيجابية (شكل 7-20). ما هو الغرض من صمام رباعي الدور؟ كيف يمكن التحكّم بمعدلٍ التغذية الكيميائيّة؟

7-50 يتم تعقيم خط رئيس جديد بمياه حاوية على 50 mg/l من الكلور بتغذية بمحلول 1.0% من الكلور إلى الماء الداخل إلى الأنبوب. (أ) كم عدد lb من مسحوق الهيبوكلوريت الجاف تحوي 70% من الكلور المتاح، يجب إضافتها إلى 40 gal من الماء لإعداد محلول 1.0%؟ (ب) ما هو معدّل إضافة هذا المحلول (1 بالمئة) إلى الماء الداخل إلى الأنبوب لتوفير تركيز 50 mg/l؟

51-7 يجب تعقيم خزان حفظ جديد حجمه 950 m^3 عبر ملئه بماء مُكلَور لمدة 6 h. ويتوجب أن تكون جرعة الكلور المضافة إلى الماء الذي سيملأ الخزان 70 mg/l. كم kg من الهيبوكلوريت التجاري يجب إضافتها إلى 950 m^3 من الماء إذا كان مسحوق الهيبوكلوريت التجاري يحوي 70% من الكلور المتاح؟

52-7 ما هي المخاطر الصحيّة للميثان ثلاثي الهالوجين (THMS) وأحماض خلات الهالوجين (HAAS) في مياه الشرب؟ ما هو مصدر THMS في المياه المُعالَجة؟ إذا احتوت مياه نهائية سُحبت من محطة معالجة مياه نهر تحتوي على تراكيز عالية جداً من THMS وHAAS خلال جريان فصل الربيع. ما هي الإجراءات العلاجية التي يمكن الأخذ بها لتخفيف تشكّل نواتج جانبية؟

53-7 ما هو الأوزون، وكيف يتشكّل ويُستعمل في معالجة المياه؟ ضع قائمة باستعمالات الأوزنة الممكنة في معالجة المياه. هل يمكن لاستعمال الأوزون أن يلغي استعمال الكلور؟

54-7 لماذا يسبق الترشيح بوسط حُبيبيٍّ تخثّر كيميائي يعتبر أمراً أساسيّاً في تعقيم المياه السطحيّة؟

55-7 ما هي الأمراض التي تسببها الجياردِيا لامبيليا وأنواع الكريبتوسوروديوم للبشر؟ بأيّ أسلوب تُعدي هذه الابتدائيات الإنسان وكيف تنتقل إلى أناس آخرين عبر الماء؟ ما هي الأشكال الأخرى للانتقال؟ صف مصادر هذه العضويات المحمولة بالماء. (ارجع إلى الفقرة 7-3).

56-7 حدد معنى ناتج C . t. ما العوامل الأخرى إضافة إلى C وt التي تؤثّر في معدّل التعقيم؟ ما نوع العضويات الأسهل تعطلاً بالكلور الحر؟ ما النوع الأصعب تعطلاً؟

57-7 بالرجوع إلى الجدول 7-4 ضع قائمة بالمعقّمات الكيميائية بالتسلسل من الأشد فاعلية إلى الأقلّ فاعلية، ضمن القائمة قيم $C \, . \, t$ لكل مادة كيميائية لتعطيل 90% (1.0 log) من كييسات الجيارديا لامبيليا تحت درجة حرارة $10^{\circ}C$ و pH قدره 7.

58-7 من الجدول 7-3، ما قيمة C . t لتعطيل 99.9% (3.0 log) من كييسات الجيارديا لدى متبقي كلور حر قدره 1.0 mg/l، تحت درجة حرارة $10^{\circ}C$ و pH قدره 7.5؟ كيف يمكن لزيادة درجة حرارة الماء إلى $20^{\circ}C$ أن تؤثّر في C . t؟ كيف يمكن لتدني درجة حرارة الماء إلى $5^{\circ}C$ أن تؤثّر في C . t؟ (الأجوبة (134 (mg/l) . min)، مضروباً بـــ ½، مضروباً بـــ ¼).

59-7 أجري اختبار قفاء يضاف بشكل جرعات متدرّجة إلى وعاء الماء المرشح لمحطة معالجة مياه. أضيفت جرعة فلور ثابتة قدرها 2.0 mg/l عند المدخل بدءاً من الزمن صفر، وتم قياس وتسجيل تراكيز الفلور في الانسياب الخارج كل 5 min إلى 10 min كما هو مدرج في الجدول الآتي. احسب قيم C/C_0، حمّل قيم C/C_0 مقابل t، ثم قدِّر قيمة C_{10}. (الجواب C_{10} = 22 min).

(mg/l) C	(min) t	(mg/l) C	(min) t	(mg/l) C	(min) t
1.53	55	0.42	25	0	0
1.65	65	0.70	30	0	5
1.84	75	0.88	35	0	10
1.82	85	1.15	40	0	15
1.85	95	1.28	45	0.10	20

60-7 ما هي المتطلبات التي حددها قانون معالجة المياه السطحية SWTR الصادر عن EPA لـــ: (أ) تعطيل الجيارديا والفيروسات، (ب)

عكورة الماء المرشّحة، و(ج) متبقي الكلور في المياه الداخلة إلى نظام التوزيع.

61-7 تنتج محطة معالجة ذات تخثّر وترسيب وترشيح مياهاً مرشّحة مع عكورة تقل عن 0.3 NTU وpH 7، ودرجة حرارة 5°C لدى انسياب ذروة ساعيٍّ قدره 3.0 mgd. تمت كلوَرة المياه المرشّحة في حوض ذي مصدّات، بتوزّع لزمن المكوث كما ورد في الشكل7-22 . ما هو التعقيم المطلوب بالكلور الحر للمياه المرشّحة؟ (الأجوبة min . (mg/l) 25، min 90، 0.28 mg/l).

62-7 للمياه المرشّحة لدى انسياب ساعٍ من محطة معالجة ذات تخثّر وتكدر وترشيح، قيمة pH 7، ودرجة حرارة 15°C. بلغ t_{10} في وعاء الماء المرشح 22 min، يعقبها نقل عبر خط أنابيب لمسافة 4000 ft بسرعة 5 ft/sec قبل الدخول في نظام التوزيع. كم تبلغ كمية متبقي الكلور المطلوبة لدى مخرج وعاء الماء المرشح وخط الأنابيب (يرجح إهمال النقص في تركيز متبقي الكلور خلال زمن الانتقال في خطّ الأنابيب).

63-7 أظهر تحليل مياه النتائجة الآتية: Ca++ = 3.7 meq/l، Mg++ = 1.0 meq/l، Na+ = 1.0 meq/l، K+ = 0.5 meq/l، HCO3- = 4.0 meq/l، SO4-- = 1.2 meq/l، Cl- = 1.0 meq/l. (أ) ارسم مخطط أعمدة بياني، وضَعْ قائمةً بالاتحادات الافتراضيّة للمركبات الكيميائية، واحسب العسرة الكليّة. (ب) احسب الجرعة الكيميائية المطلوبة لإزالة عسرة الجير الفائض. (ج) ارسم مخطط أعمدة بيانيٍّ للمياه النهائية بعد إزالة عسرة بالترسيب على مرحلتين الأوليّة بالمعالجة بالجير الفائض مع إعادة كربنة متوسطة، ونهائية بافتراض أن 60% من القلويّة هي بيكربونات، افترض أن الحدود العملية إزالة عسرة الكالسيوم هيmg/l 30، وللمغنزيوم 10 mg/l. (د) احسب الجرعة الكيميائية المطلوبة لإزالة مختارة لكربونات

الكالسيوم لإنتاج مياه نهائية ذات عسرة قدرها 120 mg/l. (الأجوبة: (أ) 6.2 mg/l، 235 mg/l، (ب) 175 mg/l من CaO، (ج) 37 mg/l من Na_2CO_3، (د) CaO mg/l من 81)

64-7 أظهر تحليل مياه نهر في إقليم شبه جاف ما يأتي: Ca^{++} = 78 meq/l، Mg^{++} = 30 mg/l، Na^{+} = 106 mg/l، K^{+} = 5 mg/l، القلويّة = 126 mg/l، الكبريتات = 283 mg/l، الكلور = 96 mg/l، pH = 8.1. (أ) ارسم مخطط أعمدة بيانيّ بـــ meq/l، ما هي أشكال القلويّة الموجودة في الماء؟ (ب) تبلغ الحدود الموصى بها للمواد الصلبة الكليّة المُذابة في مياه الشرب 500 mg/l. هل يمكن لإزالة العسرة بالترسيب أن تقلّل من الجرعة الكيميائية المطلوبة لإزالة المواد الصلبة الكليّة المُذابة من 680 إلى ما دون 500 mg/l؟

65-7 تحتوي مياه تمّ ترسيبها بعد معالجة بالجير الفائض قبل إعادة الكربنة والترشيح، على 35 mg/l من CaO الجير الفائض على شكل أيون الهيدروكسيل، 30 mg/l من $CaCO_3$ على شكل أيون كربونات، و10 mg/l كـــ $CaCO_3$ من $Mg(OH)_2$ على شكل أيون هيدروكسيل. رسّبت المرحلة الأولى لإعادة الكربنة (معادلة 7-24) الجير الفائض بصيغة $CaCO_3$، حولت (معادلة 7-25) جزءاً من القلويّة المتبقيّة إلى أيون بيكربونات. احسب ثاني أكسيد الكربون المطلوب لتحييد الجير الفائض، ولتحويل 60% من القلويّة في المياه النهائية إلى صيغة بيكربونات. افترض أن الأمر يتطلب فائضاً قدره 20% من الـــ CO_2 الذي تمّ حسابُه لتعويض الغاز غير المُمتز الهارب من غرفة إعادة الكربنة.

66-7 احسب جرعة الجير الضرورية لتحلية مياه ذات التحليل الآتي عبر إزالة انتقائية للكالسيوم. ما هي عسرة الماء النهائية.

$= K^+$ ، 20 mg/l $= Na^+$ ،15 mg/l $= Mg^{++}$ ،63 meq/l $= Ca^{++}$
80 $= SO_4^{--}$ ،189 mg/l $= HCO_3^-$ ،16 mg/l $= CO_3^{--}$ ،10 mg/l
.10 mg/l $= Cl^-$ ،mg/l

7-67 حلّل كيف تزيل عسرة مياه ذات التحليل التالي عبر معالجة منفصلة. ثم قدّم معالجة بجير فائض لثلثي انسياب المياه الخام، ومن ثم مرر جانبياً الثلث الثالث. ارسم مخطط أعمدة بيانيٍّ للمياه الخام والمياه النهائية بعد الترسيب والترشيح.

46 $= Na^+$ ،24 mg/l $= Mg^{++}$ ،60 meq/l $= Ca^{++}$ ، كغاز 15 mg/l $= CO_2^-$
.35 mg/l $= Cl^-$ ،96 mg/l $= SO_4^{--}$ ،كمركب 200 mg/l $= HCO_3^+$ ،mg/l

7-68 ارسم مخططاً بيانياً بالـــ meq/l، وضَعْ قائمةً بالاتحادات الافتراضيّة لبيانات المياه الجوفية الآتية: عسرة الكالسيوم = 175 mg/l، عسرة المغنزيوم = 40 mg/l، أيون الصوديوم 14 mg/l، أيون البوتاسيوم 14 mg/l، القلويّة = 200 mg/l، أيون الكبريت = 29 mg/l، أيون الكلور= 14 mg/l، pH = 7.7. (أ) احسب الجرعة الكيميائية الضرورية لإزالة العسرة بالجير الفائض. ارسم مخطط أعمدة بياني للمياه النهائية بعد إزالة العسرة بترسيب ذي مرحلتين بالمعالجة بفائض الجير، متبوعاً بإعادة كربنة متوسطة نهائية. افترض أن نصف القلوية في المياه النهائية بصيغة بيكربونات. (ب) احسب جرعة الجير الضرورية لإزالة انتقائية لكربونات الكالسيوم. ارسم مخطط أعمدة بياني للمياه النهائية. هل يُوصى بعملية إزالة العسرة لهذه المياه؟ (ج) احسب الجرعة الكيميائية الضروريّة لإزالة عسرة بمعالجة منفصلة علماً أن 65% من الانسياب قد خضع لمعالجة بجير

فائض و35% قد مُرّر جانبياً ليتم مزجه في المرحلة الثانية. قدّر عسرة المياه النهائية.

7-69 لمياه جوفية التحليل الآتي:

كالسيوم = 94 mg/l، مغنزيوم = 24 mg/l، صوديوم = 14 mg/l، بيكربونات = 317 mg/l، كبريتات = 67 mg/l، كلور = 24 mg/l.

احسب كميات الجير ورماد الصودا لإزالة عسرة بفائض الجير ولتفاعل ثاني أكسيد الكربون لتحييده بإعادة كربنة ثنائيّة المرحلة. افترض أن الحدود العملية لإزالة العسرة قدرها 30 mg/l وللمغنزيوم 10 mg/l، وأن ثلثي القلويّة النهائية قد تحولت إلى بيكربونات. ارسم مخطط أعمدة بياني للمياه الخام وللمياه النهائية. (الأجوبة CaO 240 mg/l، Na_2CO_3 80 mg/l، CO_2 45 mg/l، عسرة الماء النهائية 40 mg/l = 30 (Ca) + 10 (Mg))

7-70 احسب كميات المواد الكيميائية لمعالجة منفصلة للمياه الموصوفة في المسألة 7-67، استناداً إلى قيمة عسرة مغنزيوم في الماء النهائية تبلغ 40 mg/l، عُسرة كليّة أعظميّة تبلغ 100 mg/l، CaO 160 mg/l، Na2CO3 35 mg/l، عسرة نهائية = 100 mg/l = 60 (Ca) + 40 (Mg).

7-71 حُددّت الطبيعة الأيونيّة للمياه الجوفية عبر الاتحادات الافتراضيّة الآتية:

0.3 meq/l = $Ca(HCO_3)_2$

0.4 meq/l = $Mg(HCO_3)_2$

0.8 meq/l = $MgSO_4$

0.2 meq/l = Na_2SO_4

0.6 meq/l = NaCl

ارسم مخطط أعمدة بيانيٍّ بالـــ meq/l للمياه الخام وللمياه النهائية. (الأجوبة CaO 240 mg/l، Na_2CO_3 80 mg/l، CO_2 45 mg/l)، هل عسرة هذه المياه زائدة؟ ما هي العمليات التي تُوصي بها لإزالة عسرة هذه المياه بالترسيب؟

7-72 محطة معالجة مياه جوفية تعالج مياهاً غنية بكل من الحديد والمنغنيز، وتستخدم تهوية نمط الصينية، وزمن تماس في حوض الترسيب، وترشيحاً رملياً، وكلورةً لاحقة، ما هي المشكلة التي تتوقعها مع هذا النظام؟

7-73 استخدم تجمّع صغير تجهيزاً غير مُكلوَر من مياه بئر تحوي تقريباً mg/l 0.6 من الحديد والمنغنيز على مدى سنوات دون أن تظهر أيّ مشاكل حديد ومنغنيز ظاهرة. اقترح أحد موظفي الصحة أن تقوم البلدة بتركيب أجهزة كلوَرة لتعقيم المياه ولتأمين متبقي كلور في نظام التوزيع. بعد البدء بالكلورة، شكا المستهلكون من تسبب الماء بتبقع الملابس والحمامات. وضِّح ماذا يجري نتيجة الكلورة.

7-74 إن عملية إزالة االحديد والمنغنيز للتجهيز بمياه بئر لتجمّع صغير عبارة عن تهوية ميكانيكيّة، وإضافة برمنغنات البوتاسيوم يليها احتفاظ في خزان تماس، وترشيح بالضغط، وكلورة لاحقة. وفي مواصفات التصميم، تُدعى هذه العملية رمل أخضر معالج بالمنغنيز، لكن الوسط الفعلي الموجود في المرشح هو رمل لا لون له. يشكو المستهلكون غالباً من أن المياه المعالجة تتسبب بتبقع تركيبات الحمامات والملابس. وكانت الاستجابة الاعتيادية من مشغليّ المحطة هي زيادة الجرعة الكيميائية والتي يبدو أنها لم تحسّن الحال. جرب مشغلو المحطة حتى الكلورة المسبقة للمياه بالترافق مع إضافة البرمنغنات، ولكن بدا وكأن ذلك قد زاد من خصائص تبقع المياه المعالجة. ناقش السبب الأكثر احتمالاً للنوعية السيئة للمياه النهائية وتوصياتك لتحسين الوضع.

75-7 المعالجة الشائعة لإزالة الحديد والمنغنيز من المياه الجوفية هي التهوية، والأكسدة الكيميائيّة، والترشيح، ما الغرض من التهوية؟ سمِّ المواد الكيميائية وصيغِهَا. لماذا يُزال معظم ثاني أكسيد المنغنيز وأكسيد الحديديك في المرشح الرملي أكثر مما يُزال بخزان الترسيب؟

76-7 في تآكل الحديد، ما هي المعادلة التي تعكس الحفر والمعادلة التي تعكس التقشر؟ ما هي عمليات التصنيع التي تقي السطح الداخلي للحديد اللدن من التآكل؟

77-7 كيف تمنع الوقاية الكاثودية التآكل الداخلي لخزان مياه من الفولاذ؟ كيف تؤثّر الوقاية الكاثودية في معادلات التآكل؟

78-7 ما هي الخطورة الصحيّة لدخول الرصاص في النظام الغذائي؟ (ارجع إلى الفقرة 5-3) لماذا تؤخذ أول العينات المتدفّقة من صنابير المستهلكين لتقدير التلوّث بالرصاص في مياه الشرب؟ ما هي الطرق المقترحة لتخفيف فائض الرصاص في مياه الشرب؟

79-7 لماذا يعتمد التعقيم المرضي للمياه الجوفية على تعطيل الفيروسات المعوية أكثر من اعتماده على كييسات الجيارديا؟ عرّف معنى التعقيم الطبيعي للمياه الجوفية. ما هو الفرق بينهما؟

80-7 تُنقل مياه جوفية من بئر حقلي إلى تجمّع سكنيٍّ بواسطة خط أنابيب قطرُه .16 in وطوله 4200 ft. يبلغ معدّل الضخ الساعي الأقصى 2000 gpm، وتبلغ درجة حرارة الماء 5ºC. وقد صُنِّف التجهيز بهذه المياه بسبب موقعه، بأنه عرضةً للتلوّث البُرازي، وقد حددت له الولاية مستوى تعقيم أدنى لتعطيل الفيروسات قدره (99.9% 3.0 log). ما هو متبقي الكلور المطلوب في المياه لدى مخرج خط الأنابيب؟ (الأجوبة min . (mg/l) 6، 22 min، 0.3 mg/l).

81-7 أضافت محطة مُعالجة مياه جوفية كلوراً لأكسدة الحديد والمنغنيز لإزالتهما بالترشيح. تبلغ درجة حرارة المياه الجوفية خلال استخدام الذروة في

الصيف 10°C، وتبلغ قيمة pH 7.8. واستناداً إلى دراسة قفّاء، بلغ الزمن t_{10} من لحظة إضافة الكلور إلى خزان التماس مروراً بالترشيح 1.8 min. وكان الزمن t_{10} في وعاء الماء المرشح خلال ذروة الضخ 8 min. وكان مقدار متبقي الكلور في التدفّق الخارج من المرشح 0.8 mg/l، وفي التدفّق الخارج من وعاء الماء المرشح 0.4 mg/l. هل التعقيم ملائم لتعطيل (3.0 log) للفيروسات؟

7-82 افترض أنه قد طُبِّقت إزالة عسرة بالتبادل الكاتيوني لإزالة عسرة أيونات من المياه الموصوفة في المثال 7-16. ارسم مخطط أعمدة بياني بالــ meq/l للمياه انهائية. ما هي مثالب عملية المعالجة هذه في تجهيز مياه مدينة؟

7-83 ما هو تعليقك على العبارة الآتية: "إن فلورة التجهيز بالمياه لمدينة ما، لا يفيد المستهلكين الذين لديهم أجهزة إزالة عسرة الماء في منازلهم، نظراً إلى كون أيون الفلور سيُنتزَع بصمغ التبادل الأيوني"؟

7-84 ما الخطر الصحي المصاحب لتركيز فائض نترات في التجهيز العام بالمياه؟

7-85 افترض أن عملية التبادل الأنيوني قد استُخدمت لإزالة النترات من مياه ذات صفات مماثلة لتلك المحدّدة في المسألة 7-69. ما هي المشكلة الرئيسة المحتملة لعملية المعالجة هذه؟

7-86 وضّح معاني انسياب من الداخل إلى الخارج، وانسياب من الخارج إلى الداخل (انسياب عرضي). في الترشيح الميكروي. في المثال *7-19*، لماذا كان النظام A ذا انسياب من الخارج إلى الداخل (انسياب عرضي) مع غسيل مرتدّ بالهواء – والماء مفضلاً على النظام B باستخدام انسياب من الداخل إلى الخارج؟

7-87 لماذا يُدعى مرور الماء عبر غشاء لإزالة الأملاح المنحلّة تناضحاً عكسياً؟

7-88 صف كيفية انسياب مياه التغذية والمياه المتغلغلة (الناتجة) عبر وحدة الملفاف المغزلي للتناضح العكسي.

7-89 كيف تحول إضافة حمض بدون تشكّل قشور على أغشية التناضح العكسي؟

7-90 تُظهر البيانات الآتية الخصائص النوعية لمياه بئر عميقة في منطقة جافة ذات مناخ حار:

عسرة الكالسيوم 270 mg/l، عسرة المغنزيوم 180 mg/l، أيون الصوديوم 138 mg/l، أيون الحديد 0.4 mg/l، أيون المنغنيز 0.15 mg/l، المواد الصلبة الكليّة المُذابة 830 mg/l، درجة الحرارة 27°C، pH 8.1، القلويّة 120 mg/l، أيون الكبريتات 110 mg/l، أيون الكلور 344 mg/l، أيون الفلور 1.4 mg/l، نترات نتروجين 15 mg/l.

ارسم مخطط أعمدة بيانيٍّ بالـــ meq/l، وقارن تراكيز المواد الكيميائية بالمعايير الأولية والثانويّة لمياه الشرب (جداول 5-1، و5-2، 5-3). ما هي أشكال القلويّة الموجودة في الماء؟

(أ) هل نوعية المياه مرضية لتجهيز مدينة بها من دون معالجة؟ ناقش أيّ مشاكل نوعية في ما يتعلق بالمعايير الصحيّة والجمالية.

(ب) إن إحدى التوصيات هي معالجة المياه بإزالة العسرة بالجير ورماد الصودا لتحسين النوعيّة. هل تؤمّن هذه المعالجة نوعية مرضيةً لتجهيز مدينة بها؟ خذ بالاعتبار كل متحوّل من متحوّلات النوعية ذات الاهتمام. ما هي مزايا ومثالب إزالة عسرة هذه المياه بالترسيب؟

(ج) اقترح مخططاً للمعالجة يمكنه تقديم نوعية مياه للإيفاء بكل من المعايير الصحيّة والجمالية، وارسم مخطط انسياب يظهر عمليات الوحدة، ومصادر النفايات كي يتم طرحها.

(د) ارسم مخطط أعمدة بياني للمياه المعالجة.

7-91 قدِّر كمية المركَّبات الصلبة في الحمأة الناتجة عن تخثّر مياه سطحية ذات 12 درجة عكورة بجرعة شبّة قدرها 40 mg/l. ما هو حجم الحمأة، في ما لو تم تركيز حمأة النفايات الراسبة ومياه الغسيل المرتد إلى 1000 mg/l في مروّق – مثخن؟ (الأجوبة: 180 gal/mil gal، lb/mil 180 gal، 22000 gal/mil gal).

7-92 تسببت إضافة الجير إلى مياه ذات عسرة كالسيوم، ترسب كربونات الكالسيوم. إذا أضيف 126 mg/l من الجير ذي نقاء 78% من CaO إلى مياه عسرة، كم mg/l من $CaCO_3$ سيتشكل؟ (الجواب 350 mg/l)

7-93 احسب كمية حمأة النفايات الناتجة في معالجة بالجير الفائض الموصوفة في المسألة 7-69 بواحدات: باوندات من المادة الجافة لكل mil gal من الماء تمت معالجتها، وبـــ gal/mil gal بفرض أن تركيز المواد الصلبة المترسبة يبلغ 10% (الأجوبة 5900 p/mil gal، 70 gal/mil gal).

7-94 احسب كمية حمآت النفايات الناتجة في إزالة عسرة الماء الموصوفة في المسألة 7-66، وذلك بافتراض أن تركيز المواد الصلبة في الحمأة المثخنة بالثقالة الناتجة من عمليات بجير فائض ومعالجة منفصلة يبلغ 8%، وأن تركيز المواد الصلبة من إزالة انتقائية لكربونات الكالسيوم يبلغ 12%.

7-95 يتم عادةً استخلاص الحديد والمنغنيز من المياه الجوفية بسلسلة عمليات تهوية، وأكسدة كيميائية، وترسيب وترشيح. في تشغيل أيّ وحدة من الوحدات تتم إزالة أغلبية أكاسيد المعادن؟

96-7 أيّ حمأة من حمآت النفايات الآتية أسهل انتزاعاً للمياه منها راسب



$Mg(OH)_2 + CaCO_3$، حمأة الشبّة، أم روبة $CaCO_3$؟

97-7 أيّ من البنود المُدرجة الآتية ذات مزايا لترشيح الضغط بالنسبة إلى النبذ؟

(أ) الترشيح عملية انسياب مستمر.

(ب) يمكن نزع الماء من الحمأة لتغدو كعكة صلبة.

(ج) يمكن نزع الماء من حمأة هايدروكسيد بسهولة نسبية.

(د) يمكن أن يكون الترشيح قابل للتكيف.

الفصل 8

تشغيل محطات المـــاء

تتطلب إدارة منشأة مائية معرفةً مستفيضة بأنظمة التوزيع ومعالجة الماء، ارجع إلى الفصلين 6 و7 على التوالي. إن نوعيّة المياه (الفصل 5) واختبارات كل من الخصائص الكيميائية والحيوية متطلبان أساسيّان مسبقان للتحكّم بالنظام ومراقبته. يناقش هذا الفصل عناصرَ تشغيل وصيانة أنظمة توزيع المياه، والتحكّم التشغيلي بمحطات المعالجة، وإدارة المنشآت المائيّة.

8-1 تفتيش نظام التوزيع وصيانته

فوهات الحرائق

تقع مسؤولية صيانة فوهات الحرائق (Hydrant) على المنشأة المائية، غير أن إدارة المطافئ قد تساعد في التفتيش على فوهات الحرائق. يجب أن يكون استخدام فوهات الحرائق كمصدر للمياه في غسيل الشوارع وأعمال البناء مقيّداً ومُراقباً. وبعد كل استخدام، ينبغي أن يتم تفتيش فوهة الحرائق للتأكّد من أنها في ظروف التشغيل في ما لو اندلع حريق.

ومن الضروري تخزين قطع غيار للإصلاح، وخصوصاً صمامات داخلية بديلة للقيام بأيّ إصلاح فوريٍّ. وبالرغم من تباين وتيرة التفتيش الدوري بين المنشآت المائيّة، إلا أن جداول الصيانة السنوية أمر شائع واعتيادي.

تعتمد إجراءات التفتيش الدقيق على نمط فوهة الحرائق. وأكثرها شيوعاً فوهة حريق من النوع جذع مركزي – برميل جاف (الشكل 6-32) مجهّزة بتصريف

متصاعد. وبدلاً من الفتح والإغلاق الفوري يعمل التصريف تصاعدياً مع فتح وإغلاق الصمام. وخلال الاستخدام والتفتيش، ينبغي فتح فوهة الحرائق إلى أقصاها، بحيث يُغلَق التصريف تماماً. يمكن لتسرّب المياه في أثناء إغلاقٍ جزئيّ للتصريف أن يشبع حقل التصريف ما يتسبّب بغسل وإزالة التربة حول فوهة الحرائق. وفي الطقس البارد، يغدو التصريف أمراً أساسياً لدرء العطل الناجم عن تجمّد الماء وتمدّده في البرميل.

إن الخطوة الأولى في تفتيش فوهة الحرائق هو إزالة غطاء المخرج – البزباز (Outlet-Nozzle)، وفحص مقدار الماء في البرميل عبر إدخال بندول ثقل ثم سحبه. يدل وجود الماء في البرميل على تسريب الصمام الرئيسي أو على ارتفاع منسوب المياه الجوفيّة.

تستخدم أداة تنصت لتحري التسرب، لإصلاح الخط الرئيسي إن كان من الضروريّ القيام بذلك. وإن كان منسوب المياه الجوفيّة مرتفعاً، يمكن وضع سدادة في المصرف تحول دون دخولها. ومن ثم يتوجّب بعد استخدام فوهة الحرائق ضخ الماء الموجودة في البرميل خارجاً. كما يمكن اختبار تصريف برميل غير مسدود بعد تدفّقه. وبإغلاق الصمام الرئيس، يجب أن يكون معدّل التصريف سريعاً إلى حد كاف بحيث يسبب تأثيراً ماصاً محسوساً باليد عند وضعها على بزباز مفتوح. يمكن كشف التسرب من الوصلات وأغطية البزباز عبر فتح الصمام الرئيس مع إبقاء الأغطية في مكانها. ولتفادي الأعطال، يتم صرف الهواء من البرميل في أثناء ملئه. كما يمكن تشحيم حشوة الانضغاط وشدّها بإحكام أو استبدال الجوانات المطاطية. وفي ما يتعلق بفوهة حريق ذات جذع مركزيّ، فإن وجود برغي أو تجهيز ما في صامولة التشغيل يدل على الحاجة لتشحيم يدوي، إذ إن تشحيم بعض الأنواع يتم أوتوماتيكياً، وفي كلا الحالين يجب فحص التشحيم. وأخيراً، يجب فحص كل أغطية البزابيز وأسنان اللوالب وتنظيفها وتشحيمها وشدّها بإحكام كاف للحؤول دون انتزاعها باليد.

الصمامات

يتم تركيب صمامات توقّف في نظام التوزيع لعزل مقاطع أنابيب للصيانة أو إصلاح عطل. يضمن برنامج صيانة وقائي التشغيل السليم للصمامات (Valves) عند الحاجة إليها. إذ إنه بدون تفتيش وتشغيل دوريين، قد تغدو الصمامات غير قابلة للتشغيل، أو قد تُغطّى بالإسفلت نتيجة إعادة سفلتة الشوارع أو بسفلتة المعابر الفرعية، أو يغدو من الصعب تحديد مواقعها نتيجة الإعداد غير الدقيق للخرائط. كما يمكن للصمامات أن تكون مغلقةً جزئياً أو كلياً، ما يعيق انسياب الماء. يتضمّن برنامج صيانة جيد، التحقّق من المواقع، وإجراء تفتيش على صناديق الصمامات، وفتح وإغلاق الصمامات. وتبعاً للظروف المحليّة، يجب التفتيش على الخطوط الرئيسة وخطوط التغذية مرةً كل سنة، وعلى الخطوط الأخرى في شبكة الأنابيب مرةً في فترة تمتد من سنة إلى ثلاث سنوات.

يمكن أن يحول تشكّل القشور في الأجزاء المتحرّكة للصمام من دون إغلاق كامل، وفي الحالات الحديّة، يمكن أن يمنع حركة القرص بدون التسبّب بخطر إلحاق الضرر به. ويفكك فتح وإغلاق الصمام بشكل دوريّ القشور المتداخلة. تتضمن الصيانة الوقائيّة تحديد مواقع الصمامات واختبارها وتشغيلها. يتم تأكيد تحديد موقع صندوق الصمام عبر التحقّق من القياسات الموجودة على الخريطة. بعد ذلك يبعد غطاء صندوق الصمام ويتم التفتيش على الجزء الداخلي بواسطة مصباح يدوي.

وأخيراً، يُدار الصمام حتى الإغلاق التام، ويُدوّن عدد الدورات المطلوبة لذلك. وبالإنصات بواسطة كاشف التسرب، يمكن اختبار إحكام الإغلاق. ولتجنب إضعاف جذع الصمام، يجب أن لا يتجاوز العزم المطبق في الإغلاق الحدود الموصى بها والمحدّدة من قبل المُصنّع. يمكن القيام بتدوير الصمام يدوياً، وهو عملية بطيئة ومجهدة، وقد يدار بمحرّك بنحو اقتصاديٍّ أكثر. تُزوّد الوحدات المحمولة بالطاقة إمّا بواسطة هواء مضغوط أو بالكهرباء. وتدوير الصمام بالطاقة تحديداً أمر قيّم جداً لتشغيل متكرّر لصمام أو لإزالة القشور الداخلية. تشمل الأعطال الشائعة التي

تحتاج إلى إصلاح، كسر الجذع، الحاجة إلى حشوة، وتشكّل قشورٍ داخلية. وتصليح الصمام مهمة صعبة وتتطلب عزل ذاك المقطع من شبكة الأنابيب، والحفر، وفك الصمام. فإما أن يُستبدل الصمام أو تُركّب قطع جديدة للصمام في الموقع، إن تهيأت ظروف جيدة لذلك.

اتصال عرضي ومانع ارتداد الإنسياب

المنشأة المائية مسؤولة عن حماية تجهيزها بالمياه العذبة من أيّ تلوّث ناتج من أيّ اتصال عرضيٍّ وسَيفَنَة مُرتدّة[1]. ولذلك فإن برنامجاً لضبط الاتصال العرضي أمر أساسي، بما في ذلك التفتيش على مرافق المستهلك والتي يحتمل أن تكون السبب في تلوّث التجهيز بالمياه بمواد ومُمرضات خطيرة. ومثال ذلك المستشفيات، ومستودعات الجثث، والصناعات الكيميائيّة، وأنظمة الري، وأنظمة إعادة استخدام الماء غير المخصصة للاستخدام البشري.

ينتج كثير من مخاطر الاتصال العرضيّ عن السَيفَنَة المُرتدّة من خرطوم بالوعة إلى سائل ملوّث، أو من تركيبات جديدة لم تُعقّم بشكل صحيح. ومع حلول تغذية مياه الريّ بالأسمدة الكيميائيّة، والاستخدام المزدوج لمياه الشرب والمياه المُدَوّرة، فإن ضغطاً ملائماً لتجاوز نظام مياه الشرب وتلويث توزيع المياه غدا أكثر شيوعاً. وهناك عدد من الحالات الموثّقة كانت فيها الاتصالات العرضية مسؤولةً عن تلويث نظام التوزيع. والخطر الكامن مستمر الفاعلية نظراً إلى أن أنظمة الأنابيب تُعَدّل وتُوَسّع وتُغَيّر باستمرار.

تحتاج مانعات ارتداد الانسياب (الفقرة 6-9) المركَّبة في خطوط الخدمة، إلى اختبارات دوريّة كي تضمنَ تشغيلاً سليماً. ونظراً إلى أن تطبيق برنامج لضبط الاتصال العرضي يشمل دوائر صحيّة، وتفتيشاً على أنابيب المياه، وعلى الجهات التي تجهّز بالمياه، وعلى المالكين. لذا يمكن أن يقوم بالتفتيش على موانع ارتداد الانسياب كوادر المنشأة المائيّة، أو وكالة خاصّة أو منظمة أخرى.

ضبط الاتصال العرضي

هناك عدّة متطلبات لضبط الاتصال العرضي مترافقة مع أنظمة توزيع المياه المُدَوّرة. تتضمن المتطلبات نموذجياً استخدام أنابيب بلاستيكية أرجوانية اللون أو شريط لاصق أرجواني للتمييز بين أنابيب المياه المُدَوّرة وأنابيب مياه الشرب التي تكون إما أنابيب بلاستيكية بيضاء أو زرقاء اللون، أو أنابيب سوداء من الحديد اللدن أو أنابيب بيتونية رمادية. يجب ترميز كل ما يتعلق بالمياه المُدَوّرة، كالأنفاق والصناديق ومكوّنات أنظمة الري، ويُفضّل أن تُلوّن بالأرجواني. لا يسمح باستخدام "خراطيم في مدّ أنابيب المياه المُدَوّرة. وينبغي أن يتم تحديد مناطق المياه المُدَوّرة بإشارات توضع على مسافات منتظمة تشير إلى استخدام المياه المُدَوّرة ووضع ملاحظة تشير إلى أنها مياه غير قابلة للشرب. يجب أن تُواظب الأبنية والمناطق السكنية التي مدّدت إليها شبكتا أنابيب لمياه الشرب وللمياه المُدَوّرة على تنفيذ برنامج تفتيش سنويٍّ على الاتصال العرضي للتحقّق من الوصلات وذلك بعزل كل نظام واختبار الانسياب في النظام الثاني. فإن كانت المياه المُدَوّرة متصلة بشبكة مياه الشرب، فسيتسبب قطع مياه الشرب بعدم وجود مياه إن لم تكونا عرضياً متصلتين، أو بوجود مياه مُدورة إن كانتا عرضياً متصلتين.

فقد المياه

يعبّر فقد المياه عن كميّة المياه الخام المُستلمة وكميّة المياه النهائية الموزعة على المنازل. ينجم فقد المياه في محطة المعالجة عن قياس غير دقيق لكميات المياه، أو عن التسرب من الخزّانات، أو عن المياه المرافقة لطرحٍ الحمأة، أو عن المياه التي صرفت مع الغسيل المرتد للمرشح.

وفي نظام التوزيع، يتضمن الاستهلاك المرخص استهلاكاً مقاساً صدرت له فاتورة، متضمناً المقادير التي تجاوزت الاستخدام الاعتيادي للمياه. يتضمن الاستهلاك المرخص الذي لم تصدر له فاتورة، استهلاكاً مقاساً لم تصدر له فاتورة

نتيجة خطأ في نظام الفوترة، أو بسبب التوقف عن الدفع، أو نتيجة استهلاك غير مقاس لم تصدر له فاتورة بسبب تسجيل العدّاد لاستهلاك أقل من الاستهلاك الفعلي.

يمكن تصنيف فقد الماء في فئتين: فقودات ظاهريّة وفقودات حقيقية. تتضمن الفقودات الظاهريّة اتصالات غير مرخصة وغير مقاسة بنظام المياه. ومعظم الفقودات الظاهرية ذات علاقة بقياس غير دقيق. إن القياس الدقيق للمياه أمر أساسي في فوترة استهلاك الزبائن، وجباية رسوم المعدلات، وجمع البيانات لمقارنة كميات التجهيز بالمياه بالاستهلاك، لتقدير الفقودات في النظام. تخضع عدادات المياه المنزلية لرقابة وإشراف المنشأة المائيّة. وبتقادم العدّادات يغدو التسجيل المتدني أمراً شائعاً. ولدى الكثير من مرافق الماء برنامج لإصلاح العدّادات التجارية والصناعية واستبدال عدادات المناطق السكنيّة. تُباع العدّادات بعمر صلاحية يتراوح بين 15-20 سنة، ولكن العديد من مرافق المياه قد وثّقت تراجعات في دقّة قياس العدّادات مع بداية العام 10-12 من عمر العدادات. والكثير من هذه المرافق يرى أن تراجع العوائد بنسبة 10% تبرّر إصلاح العدّاد أو استبداله. يأخذ الاستهلاك المفوتر نموذجياً بالاعتبار 85% من المياه الموزعة، رغم تباين هذه القيم بشكل كبير مع عمر نظام التوزيع ومع أساليب التركيب والإنشاء التاريخية.

تترافق الفقودات الحقيقيّة مع التسرب في نظام توزيع المياه، ومن خزّانات التخزين، أو من تسربات وصلات الخدمة الواقعة قبل عدّاد الزبون. تحدث الفقودات الحقيقيّة نموذجياً في أثناء الاستخدامات غير المُقاسة لغسيل فوهات الحرائق، والاعتيان والوقاية من الحرائق. ينبغي مراقبة الفقودات الحقيقية والحد منها بأقصى ما يمكن. يراقب الكثير من مرافق المياه المُستخدمة برامج غسيل الأنابيب، والمياه المصرّفة في أثناء الاعتيان، والاستخدامات غير الاستهلاكية الأخرى، وذلك لتقويم أفضل للفقودات نتيجة التسرب.

إن أهداف كشف التسرب هي تحديد مواقع الأعطال الصغيرة في شبكة الأنابيب وإصلاحها قبل حدوث توقّف للنظام، وتخفيف خسارة النظام. وبخروج

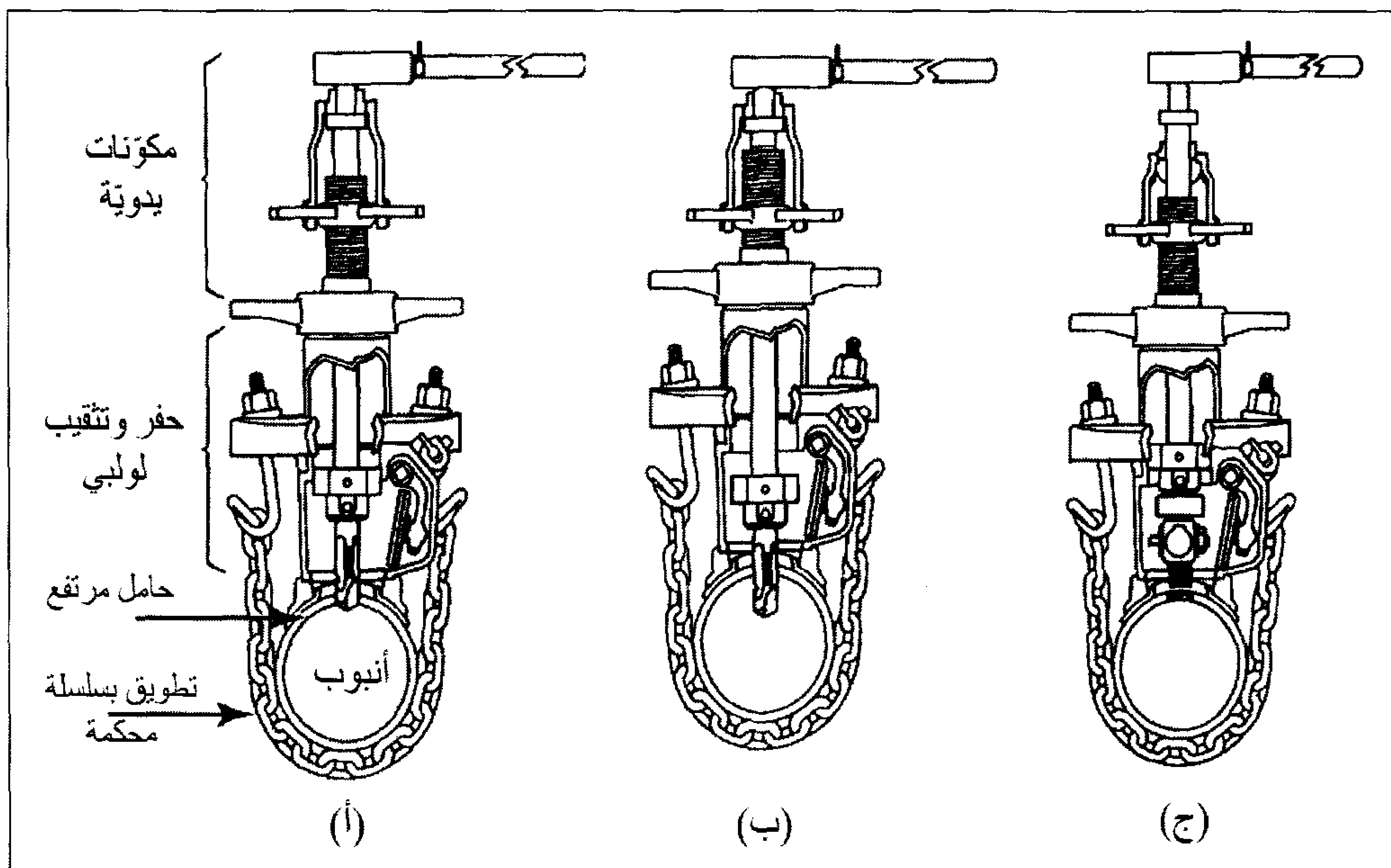
الماء الموجود تحت الضغط من كسر أو ثقب في الأنبوب، تنبثق أمواج صوتيّة مسموعة بجانب جدار الأنبوب والتربة المحيطة. ويمكن لكواشف إلكترونية قادرة على تضخيم الأمواج الصوتيّة وترشيح ضجيج الخلفية غير المرغوب به واستبعادها، أن تحدّد التسربات وتعزلها. ويمكن لمشغّل الجهاز، بعد اكتسابه الخبرة، أن يقدّر أيضاً معدل التسرب. كما يمكن سماع الصوت المنتقل بجدار الأنبوب بالإنصات في فوهات الحرائق، والصمامات الرئيسة، والصمامات الحاجزية. وبإجراء مسوحات، يتم تحديد مناطق فقد المياه بالإنصات في نقاط التّماس المباشر، ويتم تحديد موقعٍ تقريبيٍّ للتسرّب عبر تقييم شدّة الصوت من عدّة مواقع. تتسبب المياه بتراصّ التربة، ويتسبّب جريانها في التكهفات، بتشكّل أمواج منخفضة الترددات محدودة الانتشار عبر الأرض. وباستخدام الميكروفونات السطحيّة يمكن تحديد موقع التسرب بدقّة أكبر. وتعتمد طبيعة الصوت الصادر عن هروب الماء على ضغط المياه في الخط الرئيس، وعلى مادة الأنبوب وحجمه، وعلى ظروف التربة، وعلى شكل وترتيب فتحة التسرب. وعلى ذلك يتطلب تحديد مكان التسرب وتقدير خطورته تدريباً وخبرةً لدى مشغل الجهاز.

يتم غالباً تصليح الأنابيب والوصلات واستبدالها عبر وضع غطاءٍ خارجيٍّ على مكان التسرب. وأكمام الإصلاح عبارة عن نصفي أسطوانة ينطبقان بشكل يحيط بالأنبوب، ثم يُوصَلان ويُثبّتان ببعضهما البعض بالبراغي. وعند الوصلات، يمكن إدخال قطعة صلبة بحيث يكون نصفاها في كل الأنبوبين، وتشدُّ بإحكام أداة ربط قطعتين تحيطان بالجزء الخارجي للوصلة.

تثقيب الخطوط الرئيسة بتسنين لولبي

يقوم كادر المرفق المائي بإنجاز توصيلات الخدمة لمقاولي البناء من الخط الرئيس. تحفر أداة تثقيب التسنين اللولبي وتفتح ثقباً مسنناً لولبياً عبر جدار الأنبوب الموجود تحت الضغط، ومن هنا تأتي التسمية "ثقب لولبي رطب". ومن ثم يمكن إدخال قاطع المؤسسة للتوصيلات صغيرة الأقطار، أو السماح بسدّها بصمام بوابة

خروج للتوصيلات الكبيرة. ويمكن إنجاز الثقب اللولبي الجاف إمّا قبل ملء الأنبوب الرئيس بالماء، أو أن يتم سحبه من الخدمة.



شكل 8-1: ثقب خطّ رئيس لولبياً لتوصيلة خدمة (أ) حفر ثقب خلال جدار الأنبوب. (ب) تسنين الثقب المحفور لولبياً. (ج) إدخال قاطع مؤسسة. (موافقة من: Mueller Co., A Grinnell Company)

يتم شد آلة حفر الثقب اللولبي للتوصيلات صغيرة الأقطار إلى حامل مرتفع يقوم بإحكام إطباق الآلة على القطر الخارجي للأنبوب. يتم وضع حشوة (جوان) تحت الحامل. تظهر المخططات الثلاثة في الشكل 8-1 الخطوات الرئيسة الثلاث لإعداد وصلة خدمة منزل. الخطوة الأولى هي حفر ثقب في الأنبوب بواسطة لقمة الحفر وأداة التسنين الملولب، ومن ثم يتم تسنين الثقب المحفور لولبياً بالأداة نفسها. بعد سحب الأداة ضمن وحدة الحفر، تُبعد جانباً، ثم يوضع قاطع المؤسسة في موضع الثقب ويُثبّت فيه بإدارته لولبياً.

تتطلب وصلات الخدمة الكبيرة تركيب أكمام وصمام بوابة. بعد تنظيف السطح الخارجي للأنبوب، يتم إحكام شد كم تثقيب له شكل نصفي أسطوانة حول

الأنبوب ويُعزل بواسطة حشوات (جوانات) منفصلة تضغط على نهايتي الأكمام بواسطة حلقات تحيط بالأنبوب وتُثبّت على الأكمام بواسطة براغي. لأحد نصفيّ كمّ التثقيب ثقب ذو أنبوب صغير بحافة بارزة. يثبّت صمام البوابة على أنبوب الكم هذا بواسطة براغي، وتوصل آلة الحفر بالصمام. تحفر لقمة القطع والحفر، المُمتدة عبر صمام البوابة المفتوح ثقباً عبر جدار الأنبوب. بعد إتمام الثقب تُسحب لقمة القطع والحفر، ويُغلق صمام البوابة. تُبعد آلة الحفر، ويوصل خط الخدمة بالحافة البارزة لصمام البوابة.

2-8 اختبار نظام التوزيع

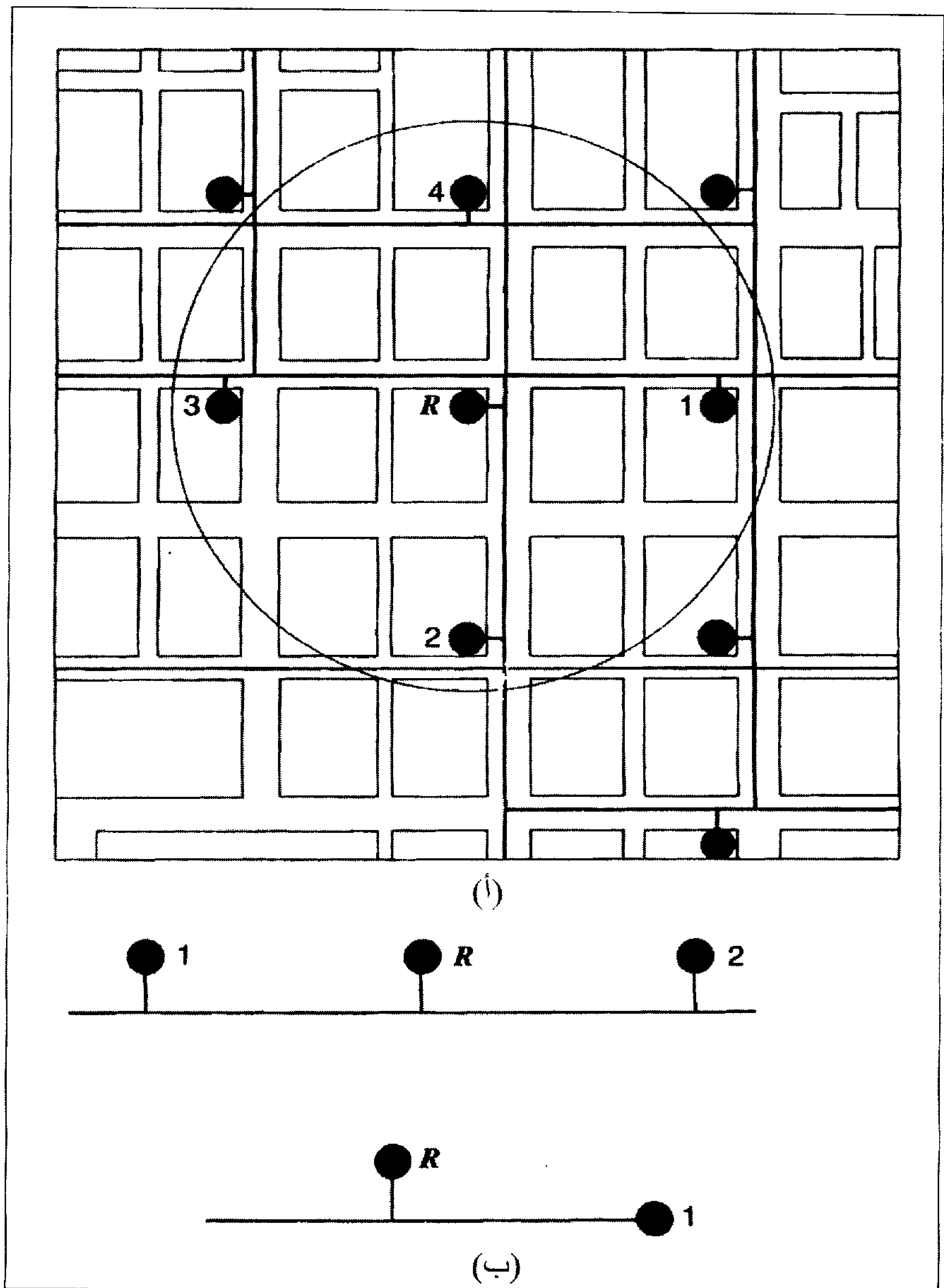
اختبارات تدفق مياه الحرائق

هذه الاختبارات هامة في تقدير كفاءة وملائمة نظام توزيع في نقل المياه خاصة خلال أيام الطلب العالي ويُستخدم لقياس كميّة المياه المتاحة من فوهات الحرائق لمكافحة الحرائق.

ينبغي أن يكون معدّل الانسياب متوافراً بقيمة ضغط متبقٍّ محدّد. يبلغ الضغط الأدنى 20 Psi إن استُخدمت ضخّاخات دائرة المطافئ لتزويد تدفّق المياه بالخراطيم. فإن وصلت الخراطيم مباشرةً بفوهات الحرائق، فإن الأمر سيتطلب ضغطاً متبقياً قدره 50 Psi إلى 75 Psi، تبعاً للظروف البنيوية المحليّة.

تتألف اختبارات الانسياب من تصريف مياه بمعدل انسياب مُقاس من فوهة حريق واحدة أو أكثر وملاحظة هبوط الضغط المترتب على ذلك في الخطوط الرئيسة من خلال فوهة حريق أخرى مجاورة. يمثّل الشكل (8-2 أ) اختبار انسياب تُصرّف أثناءه فوهات الحرائق 1، 2، 3، 4 بينما يُقرأ هبوط الضغط المتبقي في R. يتم انتقاء الفوهة المتبقية بحيث تقع الفوهات التي تنساب المياه من بينها وبين أنابيب التغذية الرئيسة الأكبر التي تجهز المنطقة بالمياه. ينبغي أن يُحدّد عدد فوهات الحرائق المُستخدمة في التصريف، وكذلك معدّلات الانسياب بحيث لا يقلّ الضغط

في فوهة الحرائق المتبقية عن 10 Psi. يوضّح الشكل (8-2 ب) مخططات وانتقاء لفوهات الحرائق لاختبار خط رئيس وحيد.



شكل 8-2: مخططات تظهر اختيار فوهات حريق من أجل اختبارات الانسياب بهدف تقدير كميّة المياه المتاحة لمكافحة الحرائق. فوهات الحرائق المرقمة تصرف المياه بانخفاض ضغط ناتج مقاس في فوهة حريق R. (أ)اختبار انسياب فوهة حريق لمجموعة نموذجيّة. (ب) مخططات لاختبارات انسياب خطّ رئيس منفرد

وإجراءات الاختبار النموذجي فهي كالآتي: يُستبدَل أحد أغطية المخارج على فوهات الحرائق بقائس ضغط، يفتح صمام فوهة الحرائق لطرد الهواء من البرميل، ويتم تسجيل قراءة ضغط المياه الأولي. تُفتح بعد ذلك فوهات الحرائق المحيطة ويُقاس التصريف باستخدام قائس بيتوت (Pitot Gauge). يقيس أنبوب بيتوت المتمركز في تيار الانسياب القادم من بزباز فوهة حريق، الضغط الناتج من سرعة المياه المنسابة. ويمكن حساب كميّة التصريف من بزباز فوهة حريق من قراءات ضغط بيتوت باستخدام المعادلة 8-1. ونظراً إلى أنه من الصعب إيجاد قياس دقيق لمعدّل التصريف بشكل مباشر، والمطلوب لإنتاج ضغط متبق محدّد، فإن الانسياب الذي سيكون متاحاً لدى ضغط متبق معطىً ــ وليكن مثلاً 20 Psi، يجب أن يُحسب من بيانات الاختبار باستخدام المعادلة 8-2.

(1-8)

$$Q = 29.8Cd^2(p)^{1/2}$$

حيث: Q = التصريف، gpm.

C = معامل، يكون عادةً 0.90.

d = قطر المخرج، .in.

p = قراءات قائس بيتوت، Psi.

(2-8)

$$Q_R = Q_F\frac{H_R^{0.54}}{H_F^{0.54}} \cong Q_F\left(\frac{H_R}{H_F}\right)^{1/2}$$

حيث

Q_R التصريف المحسوب عند ضغط متبقٍّ محدّد، gpm.

Q_F = التصريف الكلّي خلال الاختبار، gpm.

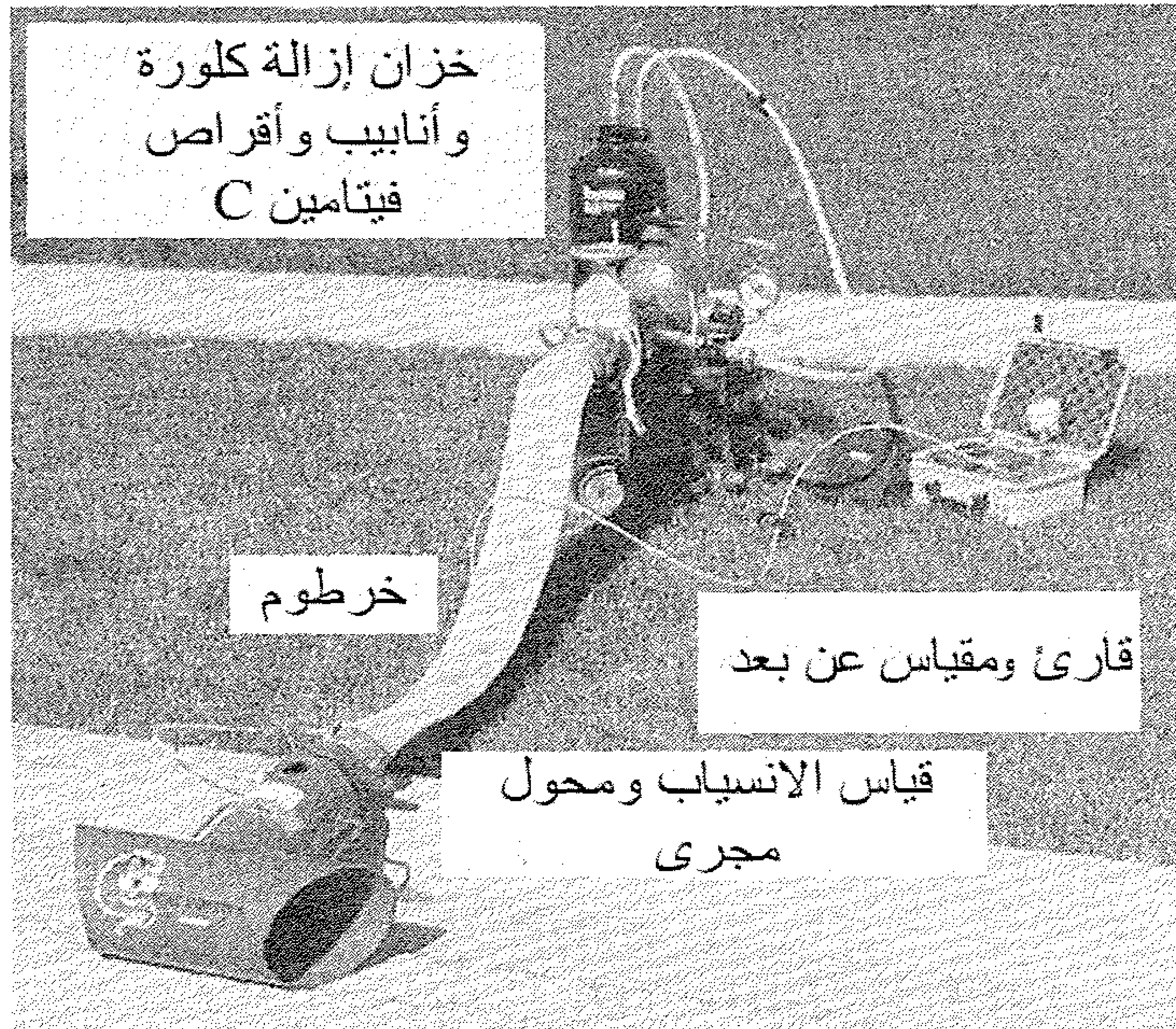
H_R = هبوط الضغط من القيمة الأصلية إلى قيمة الضغط المتبقي المحدّد، Psi.

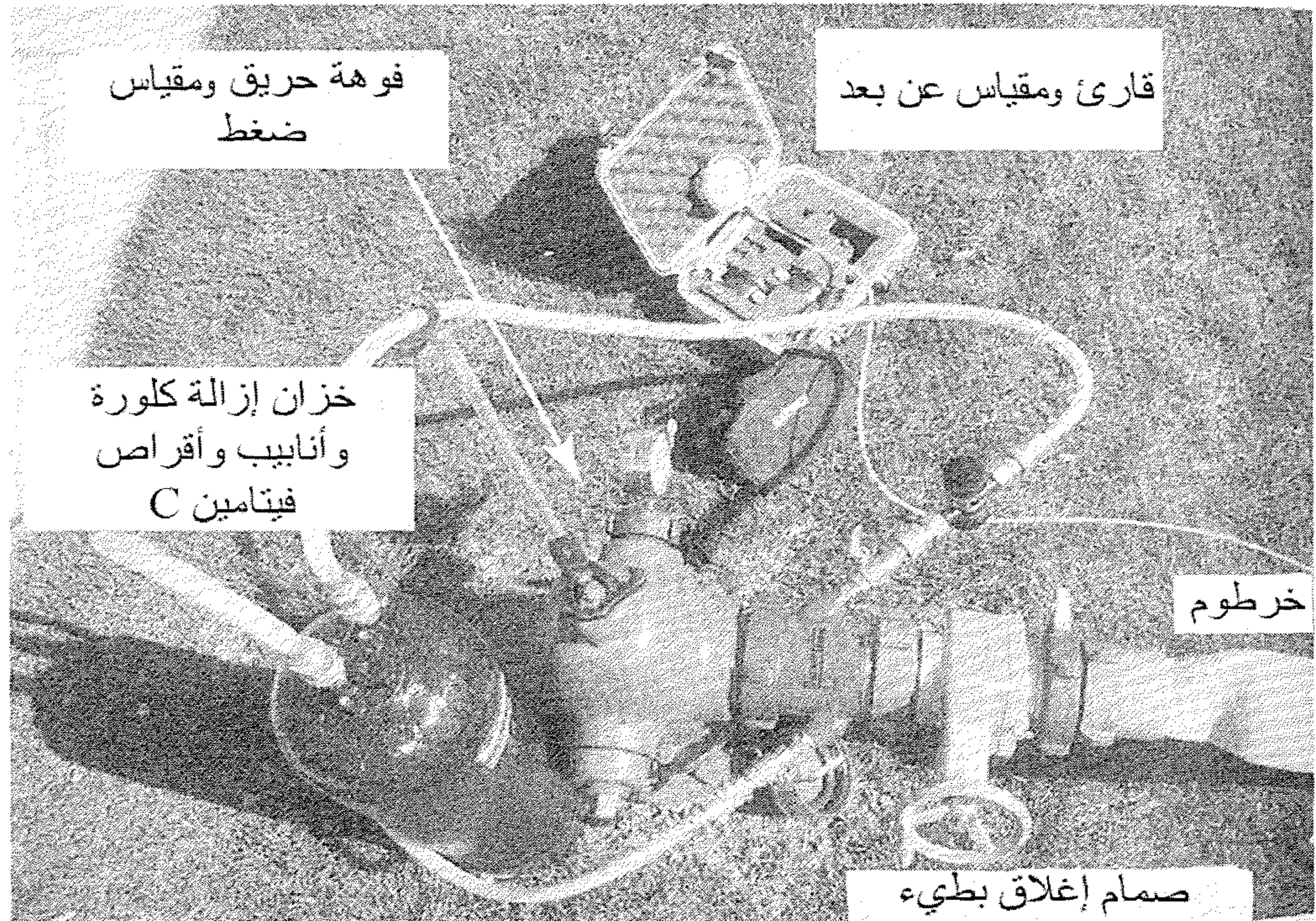
H_F = هبوط الضغط خلال الاختبار، Psi.

يظهر اختبار التدفق قوة نظام التوزيع وما من ضرورة لإدراج ملائمة المنشأة المائية بالكامل.

ادرس نظاماً مجهزاً بمضخّات في أحد المواقع ولكن من دون تخزين عالٍ. إذا تناقص الضغط لدى محطة الضخ خلال الاختبار، فإن ذلك مؤشر على أن نظام التوزيع قادر على توزيع مياه أكثر مما تستطيع المضخات تقديمه لدى ضغط تشغيلها الاعتيادي، وينبغي تصحيح قيمة هبوط الضغط المُقاس خلال الاختبار. ويساوي هذا التصحيح الهبوط الفعلي للضغط المُقاس حقلياً مطروحاً منه هبوط ضغط التصريف لدى محطة الضخ. فإن توفرت سعة ضخ كافية لدى المحطة وكان من الممكن الحفاظ على ضغط التصريف عبر تشغيل مضخات إضافية، فإن النظام المائي ككل قادر على توزيع الكميّة المحسوبة.

لكن إن لم تتوفرّ وحدات ضخٍّ إضافيّة، فسيكون نظام التوزيع قادراً على إيصال الكميات المحسوبة، ولكن النظام المائي ككل سيكون مقيداً بالضخ. تُقدر التصحيحات لهبوطات الضغط في الاختبارات المجراة على النظام، من خلال دراسة كل هبوطات الضغط المُلاحَظة في كل مقاييس الضغط التي تقوم بالتسجيل في المحطة. قد تكون التصحيحات واضحة جداً في الاختبارات المنفذة بالقرب من محطة الضخ، بينما تتناقص إلى الصفر في الاختبارات البعيدة.





شكل 8-3: صورة لمجموعة اختبار فوهة حريق، لقياس الانسياب، والضغط ولإزالة كلورة المياه قبل طرحها في مجارير مياه العواصف (صورة من: Hose Monster® equipment بموافقة من: Hydro Flow Products, Inc.)

اختبار فوهة الحرائق

يُصرف تدفق مياه اختبار فوهة الحرائق عادةً إلى الشارع وإلى نظام مياه العصف. ومتبقي الكلور في مياه الشرب سام للأسماك لذا ينبغي إزالة كلورته قبل طرحه. إن غراماً واحداً من حمض أسكوربيك (فيتامين C) سيقوم بتحييد 1 mg/l من الكلور في 100 gal. يظهر الشكل 8-3 ترتيباً نموذجياً باستخدام إمداد بفيتامين C، وانسياب، ومراقبة الضغط. توجد مباشرة بعد فوهة الحرائق، حجرة المزج لإزالة الكلورة. يجري الانسياب في خزّان يحوي أقراص فيتامين C إلى تيّار تصريف فوهة الحرائق. تقوم أداة تسجيل بيانات عن بعد وقائس ضغط بمراقبة الضغط والانسياب. يجب أن تحافظ فوهة الحرائق على ضغط أدنى قدره 20 Psi لدى امتداد النيران المُتعمد. يصرف الانسياب، المُزالة كلوَرتُه إلى حاجز حجريٍّ على جانب الطريق ثم إلى مصرف العواصف.

الشطف وحيد الاتجاه

يستخدم شطف الأنبوب الرئيس لإزالة المياه الراكدة من الخطوط ذات النهايات غير النافذة، ولجرف الفتات الذي ترسب عبر سنوات من الخدمة، قد يتضمّن فتات الخط الرئيس رملاً من آبار الماء، ورواسب من معالجة الماء، وجسيمات حديد من أنابيب الحديد المسبوك القديمة. تساهم التوضعات هذه في تردي نوعيّة الماء، ولونها، وطعمها، ورائحتها، وفي النمو البكتيري. يتطلب الشطف وحيد الاتجاه معرفة بنظام توزيع الماء من أجل إغلاق الصمامات بترتيب محدّد لإيجاد سرعات مياه عالية باتجاه واحد نحو فوهة الحرائق. والهدف من ذلك التوصل إلى سرعة جرف قدرها 5 ft/sec إلى 6. وتقدر مدة الشطف غالباً بالفحص البصري للون الماء.

تحاليل شبكة التوزيع

يمكن أن تُستخدم الانسيابات والضغوط التي جمعت خلال اختبار نظام التوزيع من أجل معايرة نماذج محاكاة حاسوبية لشبكة الأنابيب، (الفقرة 4-7). قد تتكون الشبكات من بضعة مئات من الأنابيب، غير أنّه عادةً لا تُضمّن كل الأنابيب وذلك

لتوفير الجهد في الحسابات. ينبغي أن يُفصّل النموذج الهيكلي للنظام بشكل كاف بحيث يتمكن من تحليل النظام بدقة ومعايرة البيانات الموجودة.

والخطوة الأولى هي الحصول على خريطة نظام التوزيع، بما فيها الأنابيب، والأحجام، والأطوال وموقع خزّانات التخزين، ومحطات الضخ والآبار. تُرقّم تقاطعات الأنابيب والتي تدعى عقداً، لفصل مقاطع أنابيب مميّزة. وتدخل في النظام بيانات كل مقطع، ورقم عقدة البدء وعقدة النهاية، والارتفاع، وحجم الأنبوب، والطول، ومعامل الاحتكاك. تُنشأ عُقدٌ للمتطلبات المائيّة، ولخزانات التخزين، ولمحطات الضخ. تُنشأ العقد أيضاً عند نقاط جمع البيانات والتي تتمثّل بقراءات الانسياب والضغط ضمن النظام.

يتم حساب الظروف ضمن نظام التوزيع اعتماداً على البيانات المقدمة من قبل المُستخدم. يمكن تكييف افتراضات إدخال البيانات لجعل النموذج يحاكي نتائج نظام التوزيع الحقيقي. تُحسّن النتائج المحسوبة مع قراءات الضغط والانسياب الحقلية الفعليّة، من الدقّة التنبؤية تحت ظروف متغيرة. تتضمن الظروف البديلة التي يتوجّب فحصها، المتطلبات الساعيّة القصوى، ومتطلبات الحرائق، وفقد التخزين. وعند التخطيط لتوسعة رئيسة للنظام، فإن نماذج نظام المياه، لا تظهر فقط تأثير ذلك في النظام الموجود، بل تساعد أيضاً في تحديد أحجام الأنابيب المستقبلية.

مثال 8-1

احسب التصريف لدى ضغط متبقٍ قدره 20 Psi استناداً إلى اختبار الانسياب التالي. تصرف كل فوهات الحرائق 1، 2، 3، و4 كما هو موضّح في الشكل كميات الماء نفسها عبر بزابيز موجودة في خرطوم قطره .in 2½. كانت قراءة ضغط أنبوب بيتوت لدى كل فوهة حريق 16 Psi. ولدى هذا الانسياب، هبط الضغط المتبقي لدى فوهة الحرائق R من 90 Psi إلى 58 Psi.

الحل

باستخدام المعادلة 8-1

$$Q = (4)(29.8)(0.90)(2.5)^2(16)^{1/2} = 2680 \text{ gpm}$$

من المعادلة 8-2

$$Q_R = 2680\,\frac{(90-20)^{0.54}}{(90-58)^{0.54}} = 4090 \text{ gpm}$$

$$Q_R = 2680\left(\frac{(90-20)}{(90-58)}\right)^{1/2} = 3970 \text{ gpm}$$

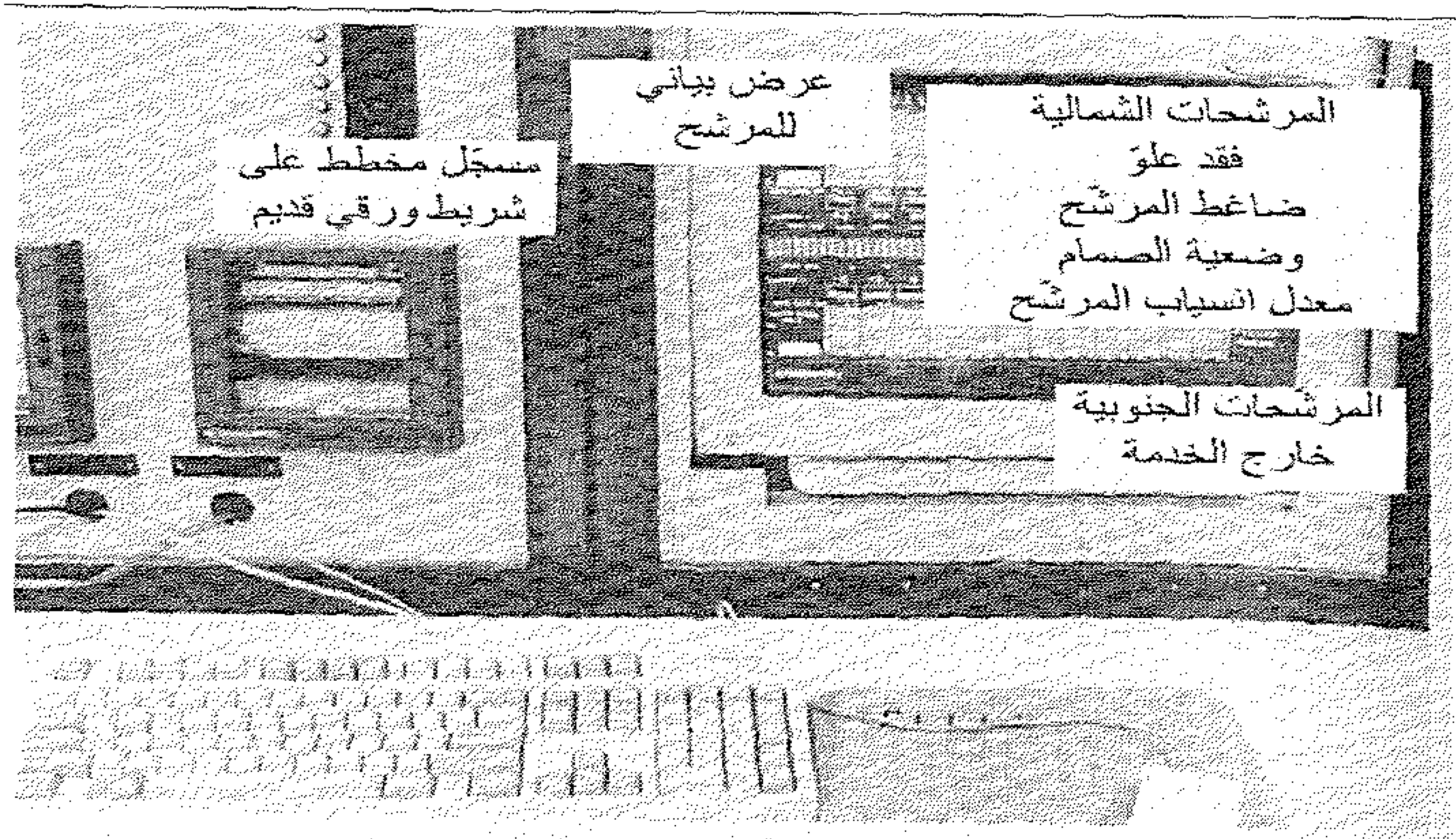
3-8 ضبط تشغيل المنشآت المائيّة

ضبط عملية معالجة الماء

إن نوعيّة التجهيز بالمياه الخام، والعمليات الكيميائية في المعالجة، تحدّد المرافق الفيزيائيّة للتكدّر والترسيب والترشيح، مدى تعقيد التحكّم بتشغيل محطّة معالجة. إن درجةً عالية من الأتمتة، والتي كانت يوماً ما تتأثر بحجم المحطة، قد غدت الآن بأنظمة التحكّم الحاسوبي منخفضة الكلفة، أمراً اعتيادياً في محطات المعالجة الصغيرة. تسمح أنظمة التحكّم بإمكانية الاتصال بحيث يمكن لكادر التشغيل الاتصال بالنظام عن بعد ليتخذ قراراً بشأن تشغيل المحطّة وليعدّل من استرتيجيات التحكّم والمراقبة. تُستخدم أجهزة قياس عكورة موصولة بخط مباشر، لضبط الجرعة الكيميائية ولترسل إشارةً بذلك إلى الغسيل المرتد. يقدّم البائعون المحليون أو مصنعو الأجهزة عقود خدمة للتفتيش على المكونات المعطوبة واستبدالها. وبالرغم من ذلك، يجب أن يتم تأمين نظام تحكم يدوي كاف لتشغيل المعدّات في حال تعطّل أو توقّف الأدوات أو الحاسب. يسمح التحكّم المركزيّ للوحات التحكم المحليّة للعمليات المعقّدة كالتحكم بالمرشح أن، ينسق بينه وبين مرشحات أخرى لتوزيع الانسياب، ولتسلسل الغسيل المرتد، ولتشغيل الطوارئ.

تمثل أدوات التحكم لمحطةٍ منفردة، أدوات التحكم القابلة للبرمجة، وأنظمة جمع البيانات والتحكّم الرقابي (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)، إمكانيات متزايدة للأتمتة. تسمح أداة التحكم لمحطة منفردة لعامل التشغيل

بإدخال رقم نقطة مراقبة ما في المحطة لمراقبة الأعمال المنفذة كمنسوب المياه وإضافة المواد الكيميائيّة. تنجز أدوات التحكم القابلة للبرمجة الوظائف نفسها، بل تكون قادرةً على التحكم بأكثر من عملية، ويمكن لوظيفة الأداة أن تتغير بتغيير البرنامج الموجود ضمنها. كما يمكن للأداة أن تطلق إنذارات، ويكون ذلك عادةً عبر وظيفة منفصلة. ويطلب من عاملي التشغيل حفظ سجلات للزمن، وللأوزان، ولدرجات الحرارة، ولظروف العملية. تستخدم أنظمة جمع البيانات والتحكّم الرقابي (SCADA) حاسوباً شخصياً لحفظ وعرض البيانات ولربط كامل نظام التحكّم بشبكة حاسوبيّة. يمكن لعامل التشغيل تشغيل الجهاز أو إيقافه، وتغيير معدّل التغذية الكيميائيّة، وضبط الإشراف على المضخة، وتمثيل الانسيابات والضغوط والأوزان بيانياً.



(أ)



(ب)

شكل 8-4: حاسب مركزي وعرض لنظام جمع البيانات والتحكم الرقابي في محطة معالجة مياه سطحيَة. (أ) عرض تخطيطي لمجموع المرشحات. (ب) مخطط لمرشح علوّ مع الزمن لمرشحات الحوض الجنوبي (San Juan Water District. Granite Bay. CA)

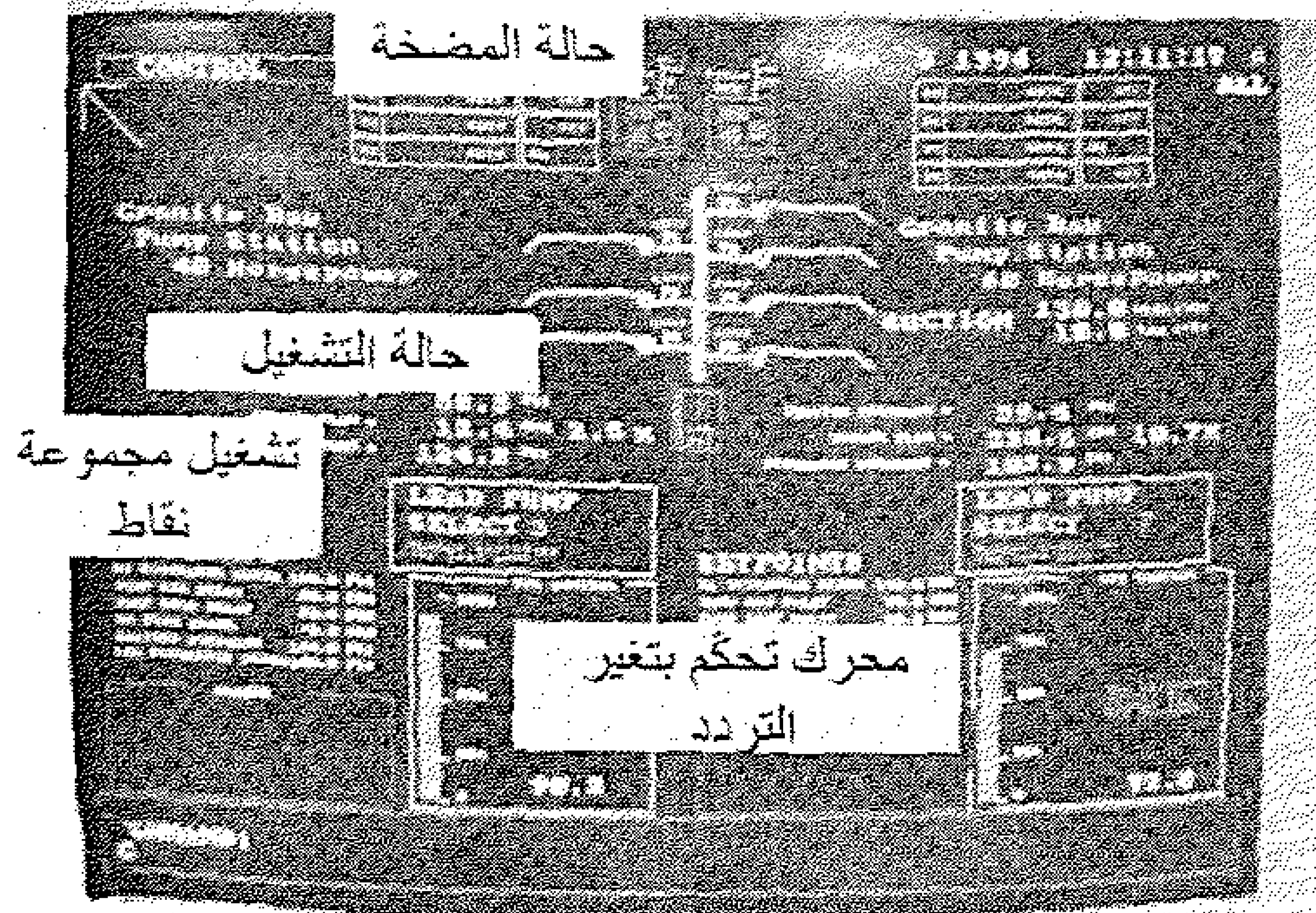
كما يمكن تسجيل الإنذارات، والزمن، ووضعيات التشغيل والإيقافات، والأوزان ورسمها بيانياً وتهيئتها لإعداد تقرير.

يظهر الشكل 8-4 شاشات التحكم بالترشيح لمشروع مياه سطحية قدرته 120 mgd. حيث رُكب الحاسب المركزيّ ضمن لوحة تحكم موجودة، وما زال مسجل مخططات على شريط ورقي قديم الطراز يظهر يسار شاشة الحاسب، قيد الاستخدام، شكل (8-4 أ). يمثّل كل مستطيل بادٍ على الشاشة مرشحاً من أصل 24 مرشح. وكل مرشح منها ذو قائسِ انسياب وصمامِ تحكم بالتغيير في الأنبوب الخارج من المرشح. إن أحواض المرشح الجنوبي الظاهر أسفل الشاشة، خارج الخدمة، وقد وضعت قيد التشغيل اليدوي وقت التقاط الصورة. إن القيم المعروضة تحت كل مستطيل حوض من أحواض المرشح الشمالي هي لفقد العلوّ عبر كل مرشح، ولوضعية التشغيل الأوتوماتيكي أو اليدوي، ولوضعية صمّام التصريف معبراً عنها بالنسبة المئوية لمدى فتحه، وللانسياب عبر كل مرشح.

لقد تمّت برمجة المرشّحات لتعمل وفق معدّل انسياب ثابت عبر المرشح. ويستخدم الحاسب قيمة معدّل انسياب (قيمة نقطة الضبط) يقوم عامل التشغيل بإدخالها إلى الحاسب للمقارنة بقيمة كل قائس انسياب للتدفّقِ الخارج من المرشح. يتم تكييف كل صمام إلى وضعية تسمح بانسياب أكثر أو أقل إلى أن تتطابق قيمتا قائس الانسياب وقيمة الضبط.

ويكون كل صمام مفتوحاً فقط جزئياً عندما يكون المرشح نظيفاً، للإبقاء على معدّل انسياب منخفض، ثم ومع اتساخ المرشح وبدء الانسياب بالتناقص، يقوم المُتحكم بفتح الصمام للمحافظة على معدل انسياب ثابت. غير أن كوادر المحطة قاموا بتعديل التشغيل إلى معدلات متناقصة، حيث أُبقيت الصمامات بوضعية ثابتة تكون فيها مفتوحة بنسبة 35%، ويتناقص الانسياب مع اتساخ المرشح. لقد أُجري هذا التغيير لجعل الصمامات بمنأى عن الدوران المستمر للبحث عن قيمة الانسياب

والتوافق معها، وبسبب كون اختراق المواد الصلبة للمرشح أمراً مستبعداً، في ما لو تناقص معدل الانسياب نتيجة اتساخ المرشح.



(أ)



(ب)



(ج)

شكل 8-5: مخططات ورسوم بيانية للتحكم بمحطة ضخ. (أ) قيم المخططات البيانية وقيم التحكم بمحطة ضخ. (ب) رسوم بيانية لضغط تصريف الأسبوع الماضي إلى اليسار، وللانسياب ولضغط التصريف إلى اليمين. (ج) رسوم بيانية لثمان محطات وقراءات الضغط فيها. (San Juan Water District. Granite Bay, CA)

يوضح (الشكل 8-5 ب) مخططاً بيانياً لكل مرشح. وباستخدام لوحة المفاتيح يمكن لعامل التشغيل باستخدام لوحة المفاتيح أن يختار بين التشغيل الأوتوماتيكي أو اليدوي، وفتح أو إغلاق صمام التصريف، والتحكم بالعملية. يسلسل الحاسوب ترتيب الغسيل المرتد، وصمامات التحكم، كما يراقب تشغيل المرشح. يقوم أربعة وعشرون جهاز قياس عكورة متصلة بخط مباشر، بتسجيل نوعية مياه التدفّق الخارج وبإطلاق إنذار بناءً على قيم محدّدة من قبل عامل التشغيل. يقوم عامل التشغيل بأخذ عينات

عشوائية من المياه الخام، والتدفق الخارج من أحواض الترسيب، والتدفق الداخل إلى المرشّح، والتدفق الخارج من المرشح وبتحليل إحصائي للجسيمات مرتين في اليوم.

يسمح هذا التحكم الحاسوبي بمحطة معالجة، بتشغيلها بحدٍ أدنى من اليد العاملة: يعمل ثلاثة عمال تشغيل لمدة 24 hr ثم يرتاحون لمدة 48 hr. ويوجد عامل تشغيل بشكل دائم لمدة 24 hr (16 hr عمل و8 hr للنوم في مبنى التحكم). خلال اليوم، يساعد المدير وكبير عمال التشغيل في القيام بمسؤوليات المحطة. وهناك كادرا صيانة بوقت كامل مزودان بعقود للقيام بكل متطلبات الصيانة.

يخدم نظام التوزيع أكثر من 180000 وصلة. يتم مراقبة التحكم بالتوزيع في كل محطة ضخ عن بعد باستخدام وحدات طرفية. ترسل هذه الوحدات وتستقبل معلومات من الحاسوب المركزي في محطة المعالجة بربط راديوي. يظهر (الشكل 8-5 أ) رسماً لمخطط تصميم المضخة وصمامات التحكم لمحطة ضخ. ومن الحاسوب المركزي، يمكن لعمال التشغيل أن يعدّلوا تسلسل تشغيل المضخة، والتشغيل والإطفاء، تغيير نقاط الضبط. ونظراً إلى وجود خزّان تخزين مرتفع واحد فقط في النظام، يتوجب الإبقاء على ضغط النظام بواسطة مضخات تعمل بسرعات مختلفة، كما هو مبين على الشاشة. ويعتمد التحكم في سرعة المضخة وعدد المضخات قيد العمل، على ضغط التشغيل والذي ضبط حده الأدنى بـــ 120 Psi. يمنع زمن تأخر المضخات من الإقلاع والتوقف نتيجة تأرجح الضغط. يظهر (الشكل 8-5 ب) مخططاً بيانياً لضغط الأسبوع الماضي على المحور الأيسر، وضغط الانسياب والتصريف على المحور الأيمن. يتسبب إقلاع وتوقف مضخة أخرى بصعود الضغط إلى 145 Psi. وتغيرات الضغط أمر مألوف في الأنظمة الصغيرة عندما يكون الضخ إلى الشبكة مع تخزين مرتفع محدود. تحدث اندفاعات الضغط عندما تكون المتطلبات المائية تكفي بالكاد لتشغيل المضخة التالية، ولكنها بمجرد إقلاعها، ولكونها كبيرةً جداً مقارنةً بالمتطلبات فسيزداد الضغط بسرعة في النظام قبل توقفها. تساعد الضواغط المائية الهوائيّة خزّانات التخزين الصغيرة في تخفيف تغيرات الضغط وذلك عبر توفيرها مخزوناً مائياً في النظام عندما يتعدى الضخ المتطلبات. يظهر (الشكل 8-5 ج) مخططاً لثماني محطات

ضخ وقراءات الضغط لديها. وفي الحيز الغالب للمخطط، يحافظ التحكم بالضخ على ضغط النظام يقع في مجال 10 Psi. تحدث بعض الاندفاعات بسبب إقلاع وتوقف المضخات ونتيجة لمحاولة التجهيزات البحث عن العدد المناسب للمضخات ذات السرعات المناسبة للإيفاء بالتغيرات السريعة للمتطلبات.

نوعيّة المياه

إن برنامجاً لنوعية المياه أمر أساسي في تشغيل أيّ محطة معالجة مياه. وهو إجباري في التجهيزات بمياه سطحية، ولكن حتى ولو اقتصرت معالجة مياه بئر على إزالة الحديد والمنغنيز، يبقى الإشراف المخبري المناسب ضرورياً للتشغيل الشامل. تُجري بعض محطات المعالجة الصغيرة روتينياً برامج اعتيان واختبار شاملين، بينما يعتمد بعض آخر كلياً على الدوائر الصحية المحلية وعلى الدوائر الصحية في الولاية للإشراف. ولكن حتى الأعمال المائية الصغيرة، قد وجدت أنّه بمقدورها تدريب عمال التشغيل على الكثير من الاختبارات الكيميائية والبكتيرية الشائعة باستخدام صناديق الأدوات الشخصية والكواشف. إن إتاحة التقارير المخبرية الكاملة للإطلاع أمر قيم في العلاقات العامة وفي تقييم متأثرية النظام. يعتمد التقييم على نتائج المراقبة السابقة، وخصائص السكان المُستخدمين للمياه، والقرب من مصادر التلوّث، واستخدام الأراضي المحيطة، والبيانات التاريخية لتشغيل وصيانة النظام.

تطلب كل الولايات تحليلاً للمياه النهائية من أجل البكتيريا القولونية، ويعتمد عدد التحاليل المطلوبة على عدد السكان المخدّمين، وعدد وصلات الخدمة، أو حدوث حالة خاصة. فإن ظهرَ أن اختبار القولونيات الكليّة إيجابياً، فإنّه يتوجّب اعتيان ثلاث عينات على الأقل مكررّة لكل من القولونيات الكليّة والبرازية. ويطلب تكرار الاختبار حتى يثبّت عدم وجود القولونيات في ثلاث عينات متتالية. كما يتوجّب إعلام الأهالي أن كشف وجود عينتين إيجابيتين في شهر واحد. يتضمّن تحليل الحدّ الأدنى أيضاً، الفلزات العامة، والخصائص الفيزيائيّة، والمواد الكيميائية اللاعضويّة. ويتضمن تحليل الفلزات العامة بدوره البيكربونات، والكربونات، وقلوية الهيدروكسيد، والكالسيوم، والكلور، والنحاس، وعوامل تكوين الرغوة، والحديد، والمغنزيوم، والمنغنيز، وpH،

والصوديوم، والكبريتات، والناقلية النوعيّة، والمواد الصلبة الكليّة المُذابة، والعسرة الكليّة، والتوتياء. تتضمن الخصائص الفيزيائيّة اللون، والرائحة، والعكورة. أما تحليل المواد الكيميائية اللاعضويّة فهو تقليدياً للألمنيوم، والزرنيخ، والباريوم، والكادميوم، والكروم، والرصاص، والزئبق، والنترات، والسيلينيوم، والفلور. يمثّل أيّ تركيز كيميائيٍّ يتعدى المستوى الأعظمي لملوّث أُدرج في الجدول 5-1 خطراً على الصحة، ينبغي إعلام الأهالي به. قد يلزم القيام باختبارات للكشف عن المواد الكيميائية المشعة والعضوية كل 2 إلى 4 سنوات، وشهرياً أو كل ربع سنة بالنسبة إلى المواد الكيميائية التي كانت اختباراتها إيجابية، أو التي يشك بوجودها. ويكون الاختبار بشكل طبيعي أكثر تواتراً بالنسبة إلى التجهيز بالمياه السطحيّة منها بالنسبة إلى المياه الجوفيّة. يجب إعلام الأهالي إذا عزّز الكشف الأولي عن وجود مواد مشعّة أو مواد كيميائية لاعضوية بعينيتين تجاوز معدل التركيز المستوى الأعظمي لملوّث. ويمكن لدائرة الصحة المحلية أن تطلب اختبارات إضافية لمواد كيميائية لانظامية.

يتضمن اعتيان مصادر المياه الفلزات العامة، والاختبارات الفيزيائية، والمواد الكيميائية اللاعضويّة، والمواد الكيميائية العضويّة، والنشاط الإشعاعي. لا تعتبر الاختبارات التي تتعدى المستويات الأعظمية لملوّث انتهاكاً للالتزام، بل قد تتطلب مراقبةً أكثر تكراراً واستعراضاً للمصادر المحتملة. ومن المطلوب القيام باعتيان واختبار جداول مياه الصرف بهدف الالتزام بمتطلبات طرح النفايات. تزداد تراكيز المعادن والمواد المشعة في الحمأة وقد تتجاوز حدود الطرح. تتعلق فحوص مخبرية أخرى بضبط المعالجة الكيميائية والتحكم بها، والتدخل لمعرفة سبب المشاكل في نظام التوزيع، والتعامل مع شكاوى الزبائن حول النوعية. ينبغي أن تُفحص بشكل روتيني شحنات المواد الكيميائية المُستخدمة في المعالجة، ما إن كانت مُورَدة وفق الشروط المحددة، وفي حال الإخلال بها ووجود خلل ما، تُقدّر قيم الغرامات المترتبة عن ذلك. ويمكن لبند في العقد المبرم، مدعماً بتحليل مخبري مُصادق عليه، أن يقي المحطة من مواد متدنية الجودة. ويمكن لمخبرِ أصغرِ محطة أن يحتوي على الأقل على مقياس عكورة، ومقياس لونيٍّ لمتبقي الكلور، ومقياس pH، وزجاجيات من أجل تقدير العسرة والقلويّة. أما المخبر المجهز تجهيزاً كاملاً لخدمة منطقة مدينة كبيرة، فيتضمّن مطياف

أشعة تحت حمراء ومطياف فوق بنفسجيّة ومطياف امتصاص ذريٍّ، ومقياس تحليل لوني، وسحّاحة معايرة أمبيرية وجهاز قياس ناقليّة كهربائيّة، فضلاً عن الأفران الشائعة والزجاجيات. كما يلزم إضافة إلى ذلك حاضنات ومحمّات وزجاجيات خاصة للفحوصات البكتيرية. فإن وُجِدت محطة طاقة نووية في أعلى مجرى نهر، فمن الضروري القيام بقليل من المراقبة الإشعاعية، وقد يحتاج الأمر وجود عدّاد إشعاعات نسبي وعدّاد وميض. ويشرف عادةً على المختبرات التي تخدم أنظمة مائية كبيرة خريج جامعيّ كيميائي أو مهندس كيميائي. وقد يُوظّف أيضاً اختصاصيون إضافيون وإثنان أو ثلاثة فنيي مختبرات، تبعاً لحجم برنامج الاختبارات. ويمكن لكوادر المختبر أن يعملوا أيضاً بدوام جزئيّ أو كليّ في الإشراف على المحطة. يمكن لعمال التشغيل المناوبين أن يُدرّبوا للقيام بفحوص روتينية مثل العكورة، والقلويّة، ومتبقي الكلور. كما يمكن معالجة إحصائيات القولونيات العيارية من قبل عمال تشغيل تلقوا تدريباً مناسباً. إن مزيّة عمال التشغيل المدربين على عمل المختبر تكمن في أن ورديات التشغيل تغطي كامل الـ 24 hr، بينما يعمل الكادر المخبري عادةً 8 ساعات فقط باليوم. إن إمكانية الإشراف على مدار الساعة أمر هام في الكشف عن تغيرات مفاجئة في نوعية المياه الخام. يستعمل كل من اختبارات الارتجاج والخبرة السابقة في تقدير الجرعات الأمثل لعمليات التخثر وإزالة العسرة بالجير. يمكن توقع المشاكل عبر الفحوصات الدقيقة للمياه الخام بحيث يُمكن القيام فوراً بتغييرات في عمليات المعالجة على الفور. وسجلات المعالجة السابقة ذات فائدة، فمثلاً يمكن تقييم الإزالة الفعّالة للعسرة بالجير بشكل مستمر عبر المحافظة على سجل التغذية بالجير اللازم لإزالة العسرة. يمكن لنسبة CaO المضافة لترسيب العسرة، أن تتراوح بين 0.8 و1.2 تبعاً لدرجة حرارة الماء وزمن الاحتفاظ، ولكنها يجب أن تكون متجانسة بشكل جيد خلال أيّ فصلٍ من فصول السنة.

يمكن لمشاكل الطعم والرائحة في التجهيزات بالمياه السطحية أن تغدو الهم الرئيس في مراقبة نوعية المياه على مدى عدّة أشهر من السنة. والمركَّبات المحدّدة المسبِّبة لذلك تكون غالباً مركَّبات عضوية ذوابة، من الصعب جداً، إن لم يكن مستحيلاً، تحديدها. يقدّم اختبار احتياج الكلور القياسي مؤشراً على النوعيّة العامة

للمياه. وتقدير عتبة رقم الرائحة وسيلة أخرى لتقدير نوعيّةِ المياه. يُنجز الاختبار من قبل فريق من المراقبين الذين يحاولون كشف الرائحة في عينات مخففة بالتتابع. يتم حساب رقم الرائحة من عدد التخفيفات الضرورية حتى اختفاء آخر آثار الرائحة. وبالرغم من أن الاختبار المذكور أداة مفيدة، إلا أنّه يفتقر إلى إمكانية تكراره، وقد ذكرت حالات كثيرة كانت فيها مياه معالجة ذات عتبة رقم رائحة منخفضة مسؤولة عن شكاوى عديدة من قبل الزبائن. لقد لوحظ أن تخفيفات الرائحة ليست خطّيةً دائماً، إذ إن عينات ذات رائحة كريهة قد تجاوبت بشكل جيد بتخفيف أو تخفيفين فقط.

وقد يترافق التلوّث الحيوي مع الآبار التي تقع تحت تأثير المياه السطحية نتيجة موقعها السيئ، والتردّي المسبّب للتسرب، أو لظروف غير اعتياديّة كضغط منخفض أو حدوث فراغ في الأنابيب. إن حدوث تلوّث في المياه السطحية أمر أكثر احتمالاً نتيجة احتمال جريان سطحي يحمل روث حيوانات، أو مياه مجاري، أو فيضانات. تتطلب معالجة المياه السطحية ترشيحاً وتعقيماً، نظراً إلى أن الكلور بمفرده غير مناسب لقتل كافة العضويات المجهرية الضارة. توصي رابطة الإنشاءات المائية الأمريكية أن يحافظ عاملو التشغيل على عكورة قدرها 0.1 NTU وذلك لتخفيف مخاطر العضويات الحيوية التي تنجو من التعقيم. وبالرغم من أن مقاييس EPA تتطلب أقل من 0.5 NTU في 95% من القياسات الشهرية مع وجود قيمة مرتفعة واحدة أقل من 5 NTU، وأن تكون نتائج اختبارات القولونيات الكليّة سلبية، يمكن لكييسات الكريبتوسبوروديوم أن تمر عبر الترشيح والتعقيم[2]. تتوفر شروط مناسبة للتأثير في الصحة العامة إن تكاملت ظروف حدوث اندفاع في قيمة التلوث مع تخثير سيئ، ومشاكل بتشغيل المرشح، وانسيابات شديدة تزيد من عكورة التدفّق الخارج. يجب على عمال التشغيل أن يكونوا على دراية بظروف التشغيل التي تزيد من فرصة مرور التلوّث الحيوي عبر النظام. تحدث مخاطر متزايدة في نظام التوزيع عندما يجرف انسياب ذروة ويطلق تراكيز عالية للملوثات من الغشاء الحيوي الموجودة في أنابيب التوزيع.

وعندما تكون اختبارات القولونيات الكلية والبرازية إيجابيةً، يُمكِن أن يُقدّم للزبائن نشرة إرشادية حول غلي الماء، محذرةً إياهم من تلوث حيوي ممكن منقول بالماء.

يصدر عادةً أمر بغلي الماء بعد التأكد من التلوث و/أو تحري الخطر الكامن. يجب أن يقوم عامل تشغيل النظام بالتحري عن مياه المصدر، وتشغيل محطة المعالجة، ونظام توزيع الماء، وذلك لتقويم الظروف غير الاعتيادية التي يمكنها التسبب بوجود ظروف تلوث. تتضمن اعتبارات نوعية مياه المصدر تقييم الانحرافات في نوعية مياه المصدر، ومتأثرية تلوث مياه المصدر، وذلك عبر استعراض نشاطات استخدام الأراضي لدى حدود الفصل المائي، والحوادث غير الاعتيادية كانسكابات الصرف الصحي، وجريان سطحي شديد، وفيضانات، جفاف، وظروف أخرى. ينبغي أن يبدأ تقييم المعالجة باستعراض سجلات التشغيل، وبخاصة أداء المرشح (عكورة وأعداد الجزيئات) وأداء التعقيم (جرعة الكلور، والمتبقي، وزمن التّماس، ونتائج اختبار القولونيات في المحطة وفي نظام التوزيع). يجب أن تستعرض سجلات المحطة من حيث الأعطال وتوقفات تشغيل المعالجة، واندفاعات في الانسياب، وقصر عمر عمل المرشح، والتغيرات في الإضافات الكيميائية أو في الممارسات التشغيلية. يتضمن استعراض سلامة نظام التوزيع، تقييم النشاط العمراني الحالي حول خطوط أنابيب الماء الرئيسة، والتسربات أو الكسور، وتقارير عن وجود ضغط منخفض أو مياه راكدة، وأدلة على انسيابٍ ذروة، وحدوث تدفق مياه غزيرة جارفة، واختبار متبقي كلور عبر النظام. وقد يكون الدليل الوبائي زيادة في مبيعات أدوية الإسهال التي لا تحتاج وصفة طبية وزيادة الأمراض المعدية المعوية. ويتوجب استخدام المعلومات الوبائية التي تشير إلى انتشار لهذه الأمراض منقول مائياً، عند الأخذ بالاعتبار أمر غلي الماء، حتى ولو لم تتوفر بعد بيانات نوعية الماء. يجب أن يتضمن بلاغ غلي الماء تعليمات بغلي مياه الشرب غلياناً تاماً لمدة دقيقة على الأقل.

المسح الصحي

المسح الصحي استعراض فيزيائي لحدود الفصل المائي، والتجهيز بالمياه، ولمحطة المعالجة، ولسجلات التشغيل والصيانة[3]. والهدف من هذا المسح هو تحديد كافة المناطق التي تمثل خطراً على نوعية المياه وتوزيعها. لقد وصفت حدود الفصل المائي والتجهيز بالمياه بتعابير الجغرافيا، والمناخ، والهيدرولوجيا، والجيولوجيا،

والتربة، والغطاء النباتي، والتوزع السكاني. أما مرفق المعالجة فيوصف بتعابير إجراءات الطوارئ في المرفق، وكفاءة الطاقة الداعمة، والقدرة على إزالة خصائص التدفق الداخل المتغيرة، ووثوقيّة المعدات. وينبغي أن يكون لنظام التوزيع صمامات مناسبة بهدف عزل أجزاء من هذا النظام، وأن يكون ذا أنابيب منتظمة في نظام حلقي أو شبكي لإمكانية تغذية متعددة، وأن يحوي آباراً مُشادَة وفق قانون محدد، وكذلك خزّانات تخزين ذات سعات كافية ومُصمَّمة لمقاومة الكوارث الطبيعية.

يجب أن يقيّم هذا المسح الذي يُنفذ من قبل مهندس صحي، التلوث المحتمل في كامل حدود الفصل المائي أو الحامل المائي. تتضمن نشاطات ومصادر التلوث إدارة النفايات، والزراعة، واستخدامات المبيدات العشبية والحشرية، والحرائق الشديدة، والثروة الحيوانية والرعي، والتعدين، والانزلاقات الأرضية، والأسماكَ والحياة البرية، وتطور المدن، والاستجمام المتضمن وغير المتضمن تماساً جسدياً. ويمكن معالجة احتمالات التلوث باستخدام إجراءات تشغيلية للمحطة معدلة بحيث تعالج مشاكل محدّدة، من قبيل ضبط مكوّنات طعم ورائحة المياه. وفي حالات الطوارئ، يجب أن تتوجه الاستجابة وجهةَ الأفعال التي ينبغي القيام بها حال حصول حوادث رئيسة ضمن حدود الفصل المائي، ووقوع طارئ ممكن في عمليات المعالجة، أو حدوث اضطراب في وثوقية النظام.

تتطلب الإجراءات في المملكة المتحدة مراقبةً مستمرة لكييسات الكريبتوسبوروديوم إن وجدت في التجهيز بالمياه الخام[4]. ومن الصعب جداً تحديد العلاقة السبب والتأثير بين وجود كييسات الكريبتوسبوروديوم والمرض على وجه الخصوص، نظراً إلى انتشار الجائحة رغم أن مستوياتها كانت دون الحدود المقررة، بينما في حالات متعددة أخرى، كشفت أعداد كبيرة من الكييسات بدون ظهور المرض بين السكان.

4-8 مسك السجلات

لقد قامت إدارة التدفقات الداخلة إلى مرفق مائي على سجلات دقيقة للمرافق الفيزيائية وتشغيلها وصيانتها. يوثق نظام توزيع عبر بيانات تصف شبكة الأنابيب وخصائصها الفيزيائية، وعبر سجلات معالجة المياه والتي تقدم بيانات عن تشغيل

وصيانة المحطة ونوعية مياهها. بينما تتضمن سجلات شؤون العمل قراءات العدادات، وكميات المياه المُفَوترة، وشراء المواد والمعدات، والتأمين، والسجلات الشخصية.

إن عمليات نظام التشغيل موثقة من خلال استهلاك المياه، وسجلات قائس الضغط، وانسياب وضغط طرح تصريف محطة الضخ، ومناسيب خزّانات التخزين. إن هذه البيانات أساسيّة في معايرة نماذج توزيع النظام.

يتضمن توثيق نظام التوزيع خرائط ومعلومات تفصيليّة عن الصمامات، وفوهات الحرائق، وتاريخ الصيانة. تتمّ المحافظة عموماً على خرائط منفصلة لكامل نظام التوزيع ووصلات الخدمة المفردة. تظهر الخرائط نظام الشوارع، والخطوط الرئيسة، والصمامات، وفوهات الحرائق، وخزانات التخزين، ومحطات الضخ، وقسمات أخرى، ومعلومات عن الموقع مستقاةً من نقطتين مرجعيتين على الأقل دائمتين. يمكن حفظ الخرائط ضمن مسح مُؤتمَت أو نظام تصميم يعمل بالحاسوب. تُحفظ معلومات كل صمام، وفوهة حريق، وخزّان تخزين، ومضخة في بطاقة سجل مستقلّة أو تُحفظ ضمن قاعدة بيانات الصيانة الوقائية المؤتمتة. تضم قاعدة البيانات هذه معلومات عن الأداة كرقم الأداة، ونمطها، وحجمها، وطرازها، والجهة الصانعة، ووتيرة الصيانة الوقائية ومهامها، وسجل التفتيش والصيانة. تُكَامل أنظمة المعلومات الجغرافية المعطيات البيانية الخرائطية مع المعلومات غير البيانية لقاعدة البيانات ضمن برنامج حاسوبيٍّ واحد. ويمكن استخدام هذا البرنامج لعرض بيانات حول موضوع محدّد، مثل فوهة حريق منتقاة على الخريطة، أو لإنتاج خريطة لكافّة الصمامات المُجَدوَلة لتنفيذ تفتيش صيانة وقائيّة عليها. تُحافظ البرامج المؤتمَتة على كشوفات للصمامات، والعدادات، والتجهيزات، وقطع الغيار.

يتضمن مسك سجلات محطة معالجة نوعية المياه وبيانات عن الكميات، وعن تشغيل المحطة. بعض الاختبارات على المياه المُعالَجة مطلوبةً من قبل الوكالات القانونية لتظهرَ أن نوعية المياه تفي بمقاييس مياه الشرب. تتضمن الاختبارات اليومية تحاليلَ القولونيات إضافةً إلى متحوّل كيميائي أو أكثر عادة. بينما تُنجز التحاليل

الدورية للمواد الكيميائية العضوية واللاعضويّة. ومن أجل التحكم بالعمليات، تحدِّد المُعالِجة الفحص المخبري، فمثلاً تحدّد إزالة العكورة أو العسرة لتحلية المياه اختبار الارتجاج. كما إن جرعات وكميات المواد الكيميائية المضافة في أثناء المعالجة تُسجَّل أيضاً. تضم بيانات الكمية والانسياب كمية المياه المتدفقة، والمياه النهائية، ومعدلات المرشح، وفقد المياه نتيجة الغسيل المرتد للمرشحات، ونفايات الحمأة. فإن كان المصدر مياهاً جوفية، فإن بيانات البئر المُسجلة ستتضمن، ساعات التشغيل، ومعدل الضخ، ومناسيبَ المستوي الستاتيكي والمنسوب في أثناء الضخ. وضغط طرح التصريف، واستهلاك الطاقة، والصيانة. تتوفر برامج لجدولة الصيانة الوقائية، ولضبط الجرد، ولحسابات ضبط عملية المعالجة، ولحسابات التحكم بالعملية، ولتمثيل بيانات استهلاك المياه، ولأغراض أخرى. ونظراً إلى إمكانية طباعة البيانات في أيّ وقت بدون أيّ صعوبة، تتوفر السجلات آنياً للتحاليل وكتابة التقارير.

يلخّص تقرير سنوي التحاليل المخبرية، واختبارات التشغيل، والصيانة، والأعمال، والجرعات الكيميائية، وبيانات عن الكلفة. ينبغي أن يقدِّم التقرير الموزع على المستهلكين، معلومات محددة عن تراكيز الملوثات الحيوية المجهرية، والفلزات، والعوامل الفيزيائية، والمواد الكيمائية اللاعضوية، والمواد الكيمائية العضوية، والنشاط الإشعاعي الموجود في التجهيزات بالمياه. كما ينبغي أن يقارن التقرير النتائج المخبرية بمستويات الصحة العامة المقررة والموصى بها ومعلومات عن مدى توافقها مع مقاييس مياه الشرب.

ومن المطلوب إشعار الجمهور بعيوب نوعيةِ المياه أو بالعيوب الإجرائية. تتضمن العيوب الإجرائية انتهاك متطلبات المراقبة، وإجراءات الاختبار، ومتطلبات التحقيقات والإبلاغ عنها. إن الإشعار بالمشاكل الإجرائية هامٌّ ولكنه يتميز من عيوب نوعية المياه، وفي تكرارها وفي مضمون رسائلها. تَنتج عيوب نوعية المياه من تجاوز المستويات الأعظمية لملوّثٍ ما، وتقنية المعالجة، وجدول التوافق مع المقاييس.

يجب أن يتضمن الإشعار تحديد هوية الوكالة التي أصدرته، ووصفاً لموضوع الإشعار، وبياناً واضحاً للأهمية الصحية للانتهاك، ووصفاً للحادث المحرّض لإصدار

الإشعار، ووصفاً لأيّ احتياطات يتوجب على المستهلكين الأخذ بها، ووصفاً للأعمال الجاري تنفيذها لتصحيح المشكلة، وقائمةً بأسماء وأرقام هواتف للحصول على معلومات إضافية.

5-8 المحافظة على الماء

إن إحدى المزايا الاقتصادية الأساسية الهامة لتخفيف الطلب على المياه هي زيادة استخدام منشآت مائية بدون توسيع المرافق. كما إن الاستهلاك المتدني يخفّف أيضاً من استنزاف التجهيزات بالمياه المحدودة أصلاً. يمكن توجيه برامج المحافظة على المياه إما وجهة استهلاك الزبائن، أو وجهة الفقود في نظام التوزيع.

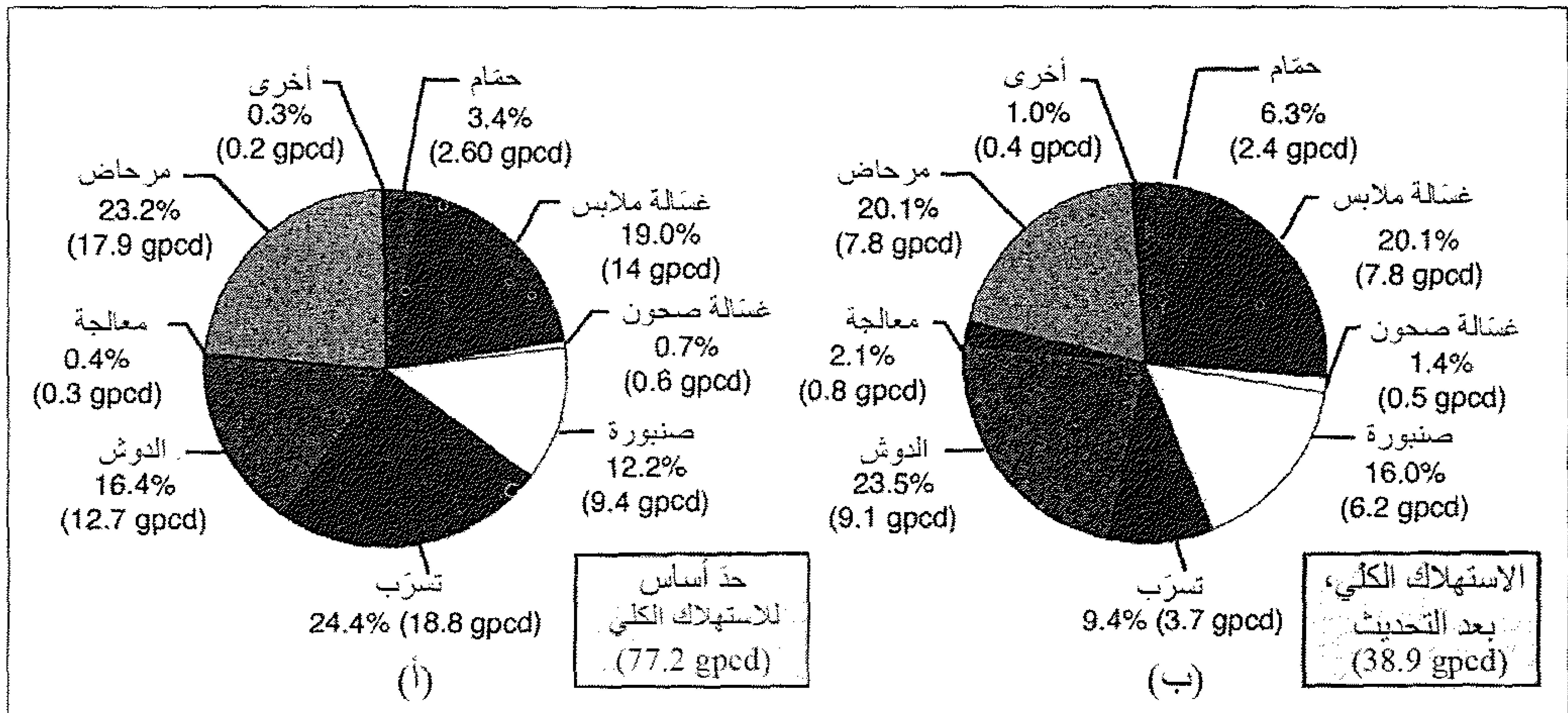
تعتمد برامج المحافظة على المياه الموجهة تجاه تخفيض استهلاك الزبون، على تثقيف الجمهور، وتركيب تركيبات تمديدات صحية في البيوت ذات كفاءة مائية، ووضع معدلات للمياه تشجع على المحافظة عليها. وبالرغم من أن برنامج التثقيف أمر مساعد أساسي، إلا أنه بدون وجود حوافز أخرى فإنه من غير المحتمل أن يكون فعّالاً بمرور الزمن، إن التركيبات المائية التي تستهلك مياهاً أقل، فعّالة أيضاً، ولكن التطبيقات الأكثر نجاحاً تكمن في إنشاءات جديدة يكون فيها للجمهور إمّا مصدراً محدوداً من التجهيز بالمياه، أو أن يواجه فيها صعوبةً في طرح مياه الصرف، أو كلاهما.

تركيبات تمديدات صحية ذات كفاءة عالية

إن أفضل ممارسة إدارية لإرساء المحافظة على مياه المناطق السكنية هي تركيبات تمديدات صحية ذات كفاءة عالية في الأبنية الجديدة، وإعادة تجديد التركيبات القديمة في المساكن القائمة، غالباً ما تكون مدعومة مالياً من قبل مزودي المدينة بالمياه. ولتقدير تأثيرات إعادة تجديد التركيبات عالية الكفاءة في منازل الأسرة الواحدة، تمّ القيام بثلاث دراسات، في سياتل، واشنطن (1999-2000)، منطقة خدمة الإقليم المائي لبلدية إيست بي (EBMWD)، وكاليفورنيا (2003-2001)، وفي تامبا، فلوريدا. في ما يلي ستتم مناقشة بيانات دراسة المحافظة على مياه المناطق السكنية في دائرة مياه تامبا (2002-2004).

لقد تمّ في هذه الدراسة اختيار 26 منزلاً عائلياً لزبائن راغبين بالمشاركة والذين لم يركّبوا تركيبات تمديدات مجدّدة ولديهم متوسط استهلاك يومي للفرد 60 gpd. كانت المنهجية الأساسية هي إيجاد بيانات الحدّ القاعدي لاستعمال المياه في أسبوعين. بعد ذلك تمّ تجديد التركيبات بمراحيض ذات كفاءة عالية، وغسالات ملابس، ومرشات دوش، وصنابير. وبعد حوالى شهر من التجديد، جُمعت المعلومات على مدى أسبوعين، كما جمعت جملة بياناتٍ بعد التجديد بستة أشهر.

وبتركيب مسجّل بيانات رُبط بعداد المياه السكني، كان من الممكن باستخدام قفاءات، تحليل انسياب كل مستهلك من المستهلكين النهائيين. لقد وفّر مسجل البيانات، بيانات دقيقة عن الانسياب بفاصل زمنيٍّ قدره 10 sec. واستطاع حاسوب مزوّد ببرنامج تحليل إشارة الزبون قادر على تتبع الانسياب بدقة كافية، أن يحدّد بصمات الانسياب الفردية لكل نمط من الأدوات وتركيبات التمديدات الصحية في المسكن. وتم تفكيك كل قفاء انسياب إلى مكوّناته واستخداماته وهي المراحيض، ومرشات الأدواش وغسالات الملابس، والجلايات، والحمامات والصنابير والتسربات. وبهذه التقنية الحاسوبية يمكن جمع بيانات دقيقة عن المكان الذي تُستخدم فيه المياه ضمن المسكن، وذلك من عدّاد المياه عبر تحليل قفاءِ انسياب بدون تطفل. يقارن الشكل 8-6 النسبة المئوية لاستخدام المياه لكل فرد ضمن المنزل قبل إعادة التجديد وبعد إعادة التجديد. لقد تناقص الاستخدام الشامل للمياه ضمن المنزل من 77.2 gpcd إلى 38.9 gpcd (292 l/person. d) إلى147 l/person. d، أيّ أن مقدار الانخفاض بلغ 38.3 gpcd (145 l/person. d)، ما يعادل 49.6%. وتناقص التسرب من 18.8 gpcd إلى 3.7 gpcd (71 l/person. d إلى 14 l/person. d)، أيّ من 24.4% إلى 9.4%. لقد كانت تسربات المراحيض والتي كانت بصورة أساسية تسربات من ذراع السيفون، هي أكبر المساهمين في التسرب المنزلي. لقد تحوّل مرشّ الدوش إلى أكبر مستخدم للماء (23.5%) يليه المرحاض وغسالة الملابس (20.1% لكل منهما)، ثم الصنابير (16.0%). بينما لم تبد الأحواض ومغاسل الصحون أي تغير ملموس.



شكل 8-6: دراسة المحافظة على مياه المناطق السكنية في دائرة مياه تامبا التي تقارن النسبة المئوية لاستخدام الماء للفرد ضمن المنزل قبل التحديث وبعده، بما في ذلك التسرب. (أ) متوسط الحدّ الأساس لاستخدام الماء للفرد ضمن المنزل. (ب) متوسط استخدام الماء للفرد ضمن المنزل بعد تركيب تمديدات عالية الكفاءة (موافقة من Aquacraft. Inc).

كانت بيانات دراستين سابقتين كالآتي:

في سياتل، كان الاستهلاك قبل التجديد 63.6 gpcd (241 l/person. d) وبلغ الاستهلاك بعد التحديث 39.9 gpcd (151 l/person. d) بنسبة انخفاض للاستهلاك المنزلي بلغت 37.3%. وفي (EBMWD) كان الاستهلاك قبل التحديث 60.4 gpcd (229 l/person. d) وبلغ الاستهلاك بعده 43.9 gpcd (161 l/person. d) بنسبة انخفاض للاستهلاك المنزلي بلغت 39%. وفي تامبا يمكن أن يحدث استخدام المياه خارج المنزل تقريباً في أيّ شهر من أشهر السنة، تبعاً للطقس. تقدم التغيّرات الفصلية في الاستهلاك المقاس لــ 986 منزل مؤشراً على كمية المياه المُستخدمة ضمن المنزل وخارجه. وفي عام 2002 بلغ استخدام الماء المنزلي ما نسبته 90% من كامل الاستخدام.

معدلات المياه المرتفعة

يمكن بفرض سعر أعلى للمياه، تخفيف الاستهلاك، ولكن ما لم يدرك الجمهور الحاجة إلى الحدّ من استعمال المياه سيضطر إلى دفع مبالغ إضافيّة، وبالتالي يمكن

للمنشأة المائية أن تفقد دعمَ الجمهور. ومن الصعب خفض الاستهلاك المحلي إلى ما دون كمية دنيا ما، كما هي مُقدّرة من قبل الاستخدام المنزلي الاعتيادي، بدون استبدال تركيبات التمديدات. ومن جانب آخر، يمكن الإقلال من ريّ الحديقة بالبدء بجدول معدّلات متصاعدة يعاقب مالك المنزل على الريّ الزائد وهدر المياه. والمرجح أن يخفّف المُستخدمون التجاريون والصناعيون من استهلاكهم نتيجة الأسعار المرتفعة. وبحوافز اقتصادية، يمكنهم غالباً تبرير تعديلهم للتخفيف من استهلاك الماء وتطوير إعادة استخدام الماء.

تدقيق حسابات المياه

تبدأ المحافظة على الماء من قبل مرفق ما عبر البدء بإجراء حسابات مياه، لكشف التسربات بهدف تخفيف كميات المياه التي لا يمكن احتسابها بالمبيعات المقاسة. إضافة إلى المحافظة على الماء فإن الفوائد الكامنة لإجراء حسابات المياه هي زيادة العوائد عبر استبدال العدادات التي تسجّل قراءات أقل من الاستهلاك الفعلي، ومنع الأعطال الخطيرة التي يمكن أن تحدث نتيجة التسربات غير المصححة. وكقاعدة عامّة، يكون الأداء جيداً إذا بلغت المبيعات المقاسة نسبة 85% إلى 90% على الأقل من التجهيز بالمياه المقاسة. إن الأطوار الرئيسة لحسابات الماء هي قياس الانسياب وكشف التسرب.

يبدأ مسح نظام ما، بفحص دقّة العدادات الرئيسة التي تقيس الانسياب الداخل إلى نظام التوزيع. والأداة الشائعة لقياس الانسياب إلى خط أنابيب هي عدّاد ومسجّل انسياب أنبوب بيتوت. يمكن قياس طيف واسع من الانسيابات في أنابيب مختلفة الأحجام بدقة ±2%. يمكن للعدّاد أن يُركّب مؤقتاً عبر قاطع مؤسسة قطره إنش. وبالرغم من أن اختبار العدّادات السكنية في أثناء تدقيق حساب المياه غير عملي، إلا أنّه يمكن تقييم أداء برنامج المدينة للصيانة والاستبدال، إن ثارت شكوك حول وجود تسجيلات متدنية. يقوم الكثير من التجمّعات بفك وتجديد العدّادات خلال تسلسل دوري مدته 8-10 سنوات. ونظراً إلى ميل العدّادات الصغيرة للتسجيل المتدني بتقادمها، يرجح أن تكون المبيعات المقاسة أقل من المياه الموزعة فعلياً.

6-8 معدّلات الماء

يجب أن يتلقى مرفق المياه عوائد كافية تمكنه من تغطية تكاليف الخدمة المناسبة. ومتطلبات العوائد الأساسية هي لنفقات التشغيل والصيانة، ولخدمة الديون، بما في ذلك الفوائد والاحتياطيات المالية المشروطة، ولتوسعات المرفق المائي وتحسينها، ولاستبدال المحطة بهدف استمرار النظام المائي. ولا ينبغي للعوائد المحصَّلة أن تعكس فقط آخر كلفة معروفة، بل ينبغي أيضاً أن تُقدّر التكاليف المستقبلية المتوقعة خلال فترة صغيرة تمّ وضع المعدلات وفقها، ولتكن مثلاً 5 سنوات. تُقدّر المعدلات الحديثة للمياه، عبر تكاليف التجهيز بكمية المياه المستهلكة، وبمعدلات الاستعمال أو متطلبات الاستعمال، وبالتكاليف المتضمنة في صيانة حساب استهلاك الزبون. إن فرز الزبائن ضمن فئات مختلفة أمر عادل وحصيف في حسابات تكاليف خدمات هذه الفئات المختلفة. إذ ينبغي أن تكون التكاليف المترتبة متكافئةً مع الخدمة المُقدَّمة. فمثلاً، يتطلب مستهلك ذو معدّلٍ استهلاك ذروة عالٍ مقارنةً بمتوسط الاستهلاك، مضخات ذات سعات وأنابيب ومرافق أخرى أكبر من مستهلك آخر ذي استهلاك كلي قابل للمقارنة به، لكنه يستخدم المياه باستمرار بمعدل ثابت، وهذا هو جوهر الموضوع.

يتضمن تقدير معدلات المياه المجالات الدراسية الأساسية الآتية: كمية العوائد المطلوبة لمؤسسة المياه، وتوزيع وتخصيص هذا العائد السنوي على متطلبات الوظائف الخدميّة الأساسية والتي بدورها ستُخصّص لفئات المستهلكين قياساً لمتطلبات خدمة الفئة المعنيّة، ومخطط معدلات المياه والذي يستردّ من كل فئة زبائن التكاليفَ المُخصّصة لها لتقديم الخدمة. وهذا الأخير يتطلب بالطبع تقييم استهلاك المياه لكل فئة من الزبائن وفقاً للظروف المحلية التي يتحكم بها المناخ، والمتطلبات الصناعية وعوامل أخرى.

يشار إلى إحدى تقنيات تخصيص كلفة الخدمة بوظائف الكلفة بمصطلح طريقة السلعة-الطلب. تفصل هذه الطريقة وظائف الكلفة الثلاث الرئيسة وهي الطلب، والاستهلاك وتكاليف الزبون. ترتبط تكاليف الطلب بتوفير المرافق للإيفاء بمعدلات

ذروة الاستخدام. وتتضمن هذه التكاليف أعباء رأس المال المخصّص لهذا الاستخدام، وتكاليف تشغيل ذلك الجزء من المحطة المصمّم للإيفاء بمتطلبات الذروة. تضمُّ تكاليف استهلاك الطاقة، والمواد الكيميائية، وتكاليفاً إضافية أخرى تتغير بتغير نوعية المياه المنتجة. أما تكاليف الزبون فترتبط بخدمة الزبائن بغض النظر عن كمية المياه المُستخدمة، مثل قراءة العداد، والفوترة، وإعداد الحسابات وصيانة العدّادات والخدمة.

والخطوة التالية هي فرز فئات الزبائن على أساس خصائص الطلب الساعي أو اليومي، بالرغم من أن بعض الفئات الخاصة قد ارتكز فرزها على أساس متطلبات سنوية غير اعتيادية. والفئات الثلاث تقليدياً هي السكنية، والتجارية، والصناعية. وفي كل نظام قد يكون هناك مستخدمون ذوو خصائص مميزة لاستخدام المياه، يجب منحها اعتباراً منفصلاً، مثل المؤسسات الضخمة كالجامعات.

ترتبط في الوقت الراهن تكاليف النظام للطلب، والاستهلاك وخدمات الزبون، بفئات الزبائن المختارة من أجل تأسيس تبعية الكلفة. تعتمد كلفة احتياج الزبون للمياه على حصته الصافية من الاحتياج الكلّي للنظام. وتخصص تكاليف الاستهلاك تبعاً للاستخدام السنوي الكلي، ثم تُخصّص تكاليف الزبون على أساس عدد الخدمات المقاسة. وأخيراً يثبّت جدول المعدلات لتحصيل عوائد كافية للإيفاء بمصاريف المنشأة المائية. وفي ما يلي عرض لطريقة نظرية لفوترة استخدام مياه الشرب محلياً لتشجيع المحافظة على الماء. لقد تمت فوترة الاستهلاك وفق نظام شرائح تصاعدية، أدناها شريحة أسرة واحدة يتراوح استهلاكها بين 0 وcu ft/month 1000 بتكلفة تقل عن 1 $ /day، وبين 1000 و2000 ft/month، وبين 2000 و3000 cu ft/month، والشريحة الأعلى بأكثر من 4000 cu ft/month بتكلفة تصل إلى 5 $ per day. يصل استهلاك منزل بتركيب تمديدات مجدّدة عالية الكفاءة، يقطنه أربعة أشخاص إلى نحو 600 cu ft/month يقع ضمن الشريحة الأولى لاستخدام المياه ضمن المنزل. ستتضمن الشريحة الأعلى استخداماً مستفيضاً للمياه في الهواء الطلق لريّ المرج، ولربما لتسرّب معتبر ضمن المنزل يكون عادةً

من المراحيض. وإضافة إلى فوترة الاستهلاك، هناك رسم خدمة قراءة العدّاد ورسم إجراء الحسابات يصل إلى 5 $ per month.

7-8 الأمن

تطلب نظام مراقبة المنشأة المائية أمناً مادياً من SCADA، وينبغي حفظ مكوّنات نظام المراقبة في غرف مقفلة وأن يكون الدخول إليها مراقباً، بما في ذلك فرض درجة عالية من الرقابة على المناطق النائية. ينبغي وضع تمديدات أسلاك الشبكة في أنابيب بحيث لا يمكن الوصول إليها من قبل أشخاص غير مصرّح لهم بذلك. وعندما يوصل نظام تشغيل SCADA بالشبكات الخارجية، يوصى بتركيب وسائط تحكّم حاسوبية كالجدران النارية ومرشحات رزمة المعبر، للحماية من قراصنة الشبكات. يجب توفر نسخ احتياطيّة للتمكن من استرجاع واسترداد البيانات في حال حدوث كارثة.

إن أمن محطة معالجة المياه أمر مطلوب لضمان مياه شرب آمنة وللوقاية من الحرائق. يجب أن يأخذ نظام وقاية مادي بالاعتبار، تلوّثاً ممكناً لمصادر المياه سواء أكان حوضاً مائياً أو نهراً أو بئراً حقلية. وبالرغم من استبعاد حدوث ذلك لكونه سيتطلب كمية كبيرة من الملوث، إلا أنه قد تُقدم إدعاءات واهية تفتقر إلى دليل بهدف الإضرار بالمنشأة المائية. وعلى ذلك يجب أن تتوفر خطة عمل لضمان إمكانية إثبات أو نفي أيّ إدعاء بالتلوث سواء أكان صادقاً أم كاذباً.

يجب أن يُحاط محيط ممتلكات المنشأة بسواتر حاجزة تضبط دخول الآليات والمشاة. ويوصى لتحقيق أمن ذلك، بسياج من قضبان مترابطة ارتفاعه بين 7 ft و8 يعلوه ثلاث جدائل من الأسلاك الشائكة، مع منطقة انتقالية خالية عرضها 20 ft خارج خط السياج. ويتم التحكم عن بعد ببوابة الآليات الأكثر حراسةً بواسطة بوابة منزلقة مكوّنة من قطعة واحدة.

يجب تسييج محطات الكهرباء الفرعية وقفلها. يمكن أن تقدم أنظمة أمن إلكترونية إنذاراً مبكراً إن دخل متطفل دخيل أرض المحطة أو مبنىً من مبانيها. ويتوفّر طيف

واسع من مستشعرات كشف الاختراق بما في ذلك الأنظمة الفاعلة أو المنفعلة، الخفية أو المرئية، ذات حقل رؤية ثابت أو متغير تجوب أرض المحطة، وذات كشف خطي أو حجمي. يمكن للسياج أن يُزوّد بمستشعرات ارتجاج أو بكابلات ألياف بصرية، ترسل إنذاراً في ما لو عبث شخص بالسياج أو قام بقطع كابل ألياف بصرية. ولردع أيّ تصرّف لاحق يمكن أن يكون الإنذار الذي قُدِحَ من قبل المتطفل الدخيل صوتياً. إن كل ما ذكر عبارة عن أنظمة ثانوية لمنع الاختراقات الخارجية، ولكن شخصاً غير متوقع من داخل المحطة أصعب من يمكن صدُّه. إن تركيب معدات دخول إلكترونية كمفتاحِ البطاقة أو قارئ بطاقة الجوار، يقدّم للإدارة سجلاً بمن استخدم البطاقة وزمن استخدامها لفتح باب محدّد. يمكن لاستخدام معدات دخول إلكترونيّة أن يحدّ من الدخول إلى المناطق الحساسة. كما يمكن لأنظمة الدارات المغلقة التلفزيونية المزوّدة بكاميرات وبإشارات تحذير على محيط الحاجز أن تردع المتطفلين الدخلاء أو الأشخاص من داخل المحطة الموجودين في مناطق مقيّدة الدخول داخلاً أم خارجاً. يمكن للكاميرات أن تقدم أدلةً مُسجَلةً لأعمال التخريب، وتساعد في تقدير ما إذا كان سبب الإنذار بشرياً أو حيوانياً. لقد تحسنت تقنية الدارة التلفزيونية المغلقة الرقميّة بشكل كبير، ما أدى إلى تناقص تكاليف الكاميرات والمسجلات. وتنتج مسجلات الفيديو الرقمية صوراً أفضل، علاوة عن كونها أسهل تكاملاً مع نظام الأمن الشامل.

كما يجب على مزودي موقع المحطة بالمواد الكيميائية أن يلتزموا بالإجراءات المُعدّة بعناية. إن إشعاراً مُسبقاً بتسليم المواد، وصورةً عن البطاقة الشخصية واسم السائق الذي سيقوم بتسليم المواد، وفحص بيان شحنِ المواد بالمقارنة بطلب الشراء، خطوات أمنية مهمة. يجب أن يُجرى فحص شامل لخلفية الموظفين المحتملين بالمحطة، بما في ذلك أيّ سجل إجرامي. كما ينبغي الأخذ بالاعتبار استخدامَ بزات محدّدة ولوحةَ تعريف شخصية صدريّة لكل موظفي محطة معالجة المياه.

المراجع

1. United States, Environmental Protection Agency (EPA). *Cross-Connection Control Manual*. Washington, DC: EPA, 2003.

2. *Cryptosporidium and Water: A Public Health Handbook*. Atlanta, Georgia: Working Group on Waterborne Cryptosporidiosis, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Infectious Diseases, Atlanta, Georgia, 1997.
3. United States, Environmental Protection Agency (EPA). *Guidance Manual for Conducting Sanitary Surveys of Public Water Systems, Surface Water and Ground Water Under Direct Influence (GWUDI)*. Washington, DC: EPA, 1999.
4. Drinking Water Inspectorate. *Drinking Water 2000: Annual Report*. London: The Inspectorate, 2001. <http://www.dwi.gov.uk/pubs/annrepo0/42.htm>.
5. "Tampa Water Department Residential Water Conservation Study: Impacts of High Efficiency Plumbing Fixture Retrofits in Single-Family Homes." Submitted to Tampa Water Department and The United States Environmental Protection Agency; Prepared by Peter W. Mayer [et al.]. Aquacraft, Inc. Water Engineering and Management, 8 January 2004, <http://www.tomthetoiletman.com/tampa_report.pdf>.

مسائل

1-8 ضع قائمة بالخطوات الرئيسة للتفتيش على فوهات الحرائق والصمامات. ما أهمية فتح وإغلاق الصمامات؟

2-8 لما تُعتبر الوصلات العرضيّة مهمة؟ ضع قائمةً بالطرق التي يُحمى فيها نظامُ صرف من تلوث محتمل.

3-8 ما هي مصادر فقد الماء؟ وماذا يمكن لمهندس المرفق القيام به تجاه فقود الماء؟

4-8 أُنجز اختبار انسياب مياه حريق ضمن نظام التوزيع باستخدام 3 فوهات حريق ذات بزباز قطره .in 2، كما هو موضّح في الشكل (8-2ب). وكان ضغط أنبوب بيتوت في كافة فوهات الحرائق 12 Psi بينما هبط الضغط في الفوهة R من 50 إلى 43 Psi. احسب التصريف لدى 20 Psi. هل التصريف مناسب لمكافحة حريق منطقة سكنية بـ 1500 gpm؟

5-8 التصريف الكلّي خلال اختبار انسياب حريق 800 gpm بضغط اختبار يبلغ 27 Psi. كان الضغط الابتدائي 45 Psi وكان الضغط المتبقي المحدّد 20 Psi. ما مقدار التصريف من أجل الضغط المحدّد؟

6-8 ينقل خط نقل رئيس طوله .3400 in وقطره .12 in، الماء من التخزين إلى نظام توزيع. يبلغ انسياب الحرائق للإيفاء بالمتطلبات السكنية والتجارية gpm 2500. والمضخات المعززة لدى خزّانات التخزين ذات سعة 2500 gpm تحت ضغط 63 Psi. هل هناك ضغط متبقي مناسب لدى C = 100 (انظر الفقرة 3-4 لمعادلة هازن – وليامز)؟

7-8 بتعابير عامة، ما هي الخطوات التي ينجزها كل مما يلي: تحكّم محطة مفردة، تحكّم مبرمج منطقياً، وحاسوب مركزي؟ كيف يمكن لشاشة الحاسوب البادية في الشكل 8-4 أن تساعد عامل التشغيل في التحكم بالمرشحات؟

8-8 ما هي مصادر النوعية السيئة للتجهيز بالمياه؟

9-8 ما هي حواجز نوعية المياه المفروضة على تجهيزات بالمياه الخام عبر المعالجة والتوزيع؟ كيف يمكن للحواجز المتعددة أن تضمن درجة أكبر من الصحة العامة؟

10-8 ما الذي كان ينبغي أخذه بالاعتبار قبل إصدار إشعار بغلي الماء؟

11-8 ما الذي يتوجّب أخذُه بالاعتبار في المسح الصحي؟

12-8 ما الذي يتوجّب تضمينُه في التقرير السنوي لمنشأة مائية؟

13-8 ما الذي يتوجب إنجازه في تقييم المحافظة على المياه؟ ما هي الإجراءات الممكن أخذها؟

14-8 صف تقنية التسجيل الحاسوبي المُستخدمة في دراسة المحافظة على مياه المناطق السكنية في تامبا. ما مقدار متوسط النسبة المئوية لتناقص استخدام الماء بعد تجديد منازل الأسرة الواحدة بمراحيض، وغسالات الملابس، ومرشات الدوش وصنابير ذات كفاءات عالية؟

15-8 ما هي العناصر المفتاحية للأمن التي يتوجب أخذها بالاعتبار في حماية المنشآت المائية؟

16-8 ما هي التكاليف المُستخدمة لتقدير معدلات الماء؟

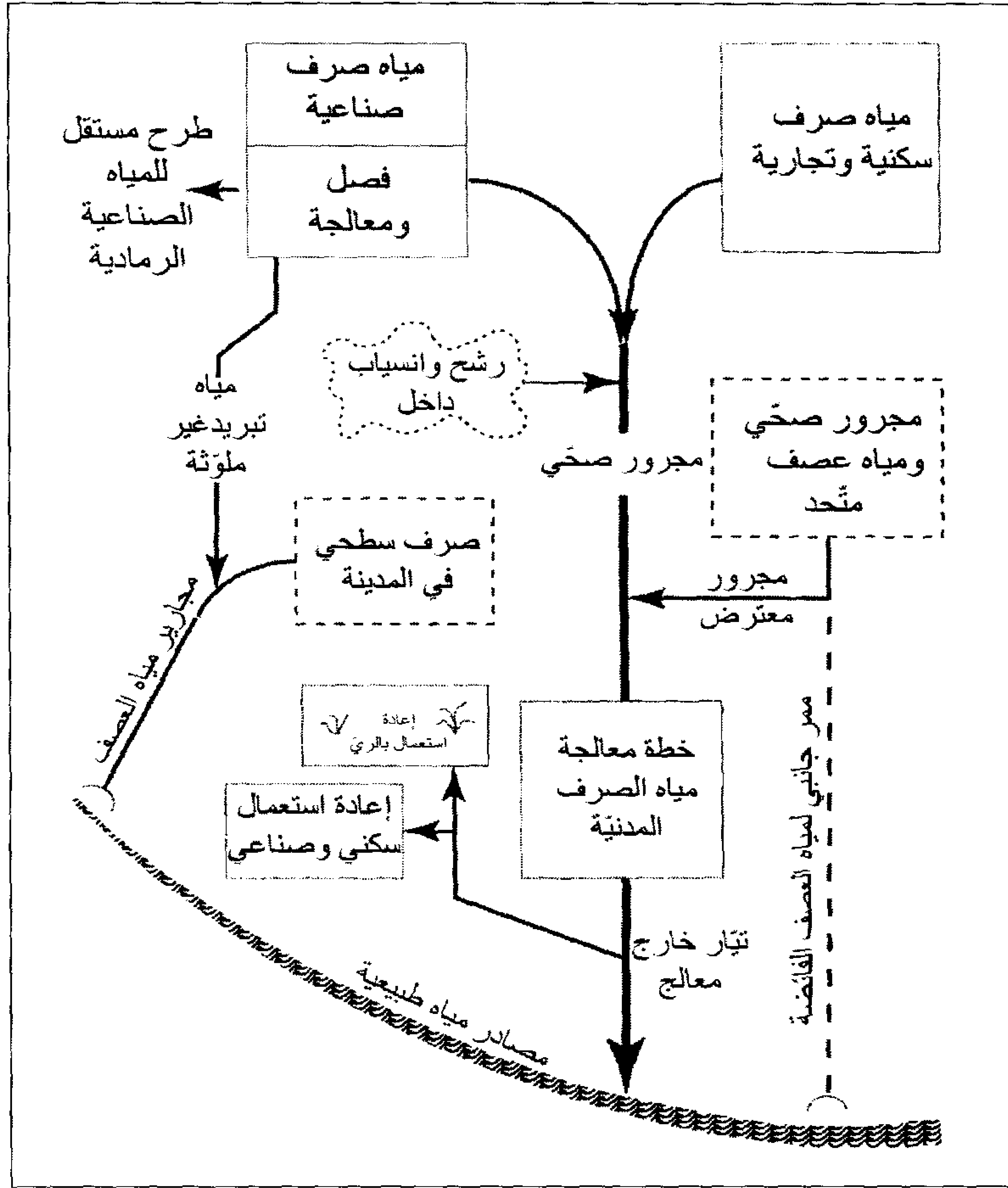
الفصل 9

انسيابات مياه الصرف وخصائصها

تشير انسيابات مياه الصرف المحلية والصحية إلى طرح التصريف السائل من المناطق السكنية والأبنية الصناعية والمؤسسات. أما الصرف الصناعي فهو طرح التصريف من مؤسسات ومنشآت تصنيعية. ومياه الصرف المدنية هو المصطلح العام المُستخدم للدلالة على السائل المُجمّع في المجارير الصحية المعالج في محطة معالجة المدينة. إضافة إلى ذلك، توجّه مجارير معترضة انسيابات الطقس الجاف من المجارير المشتركة إلى محطة المعالجة. كما يمكن للرشح ولانسياب داخل غير مرغوبين، أن يدخلا أنابيب الجمع. ويُظهر الشكل 9-1 مخططاً تصويرياً للنظام.

وفي معظم التجمعات يُجمع الجريان السطحي لمياه العصف في مجارير منفصلة ذات وصلات صناعية ومحلية لا يعرف عنها شيئاً، حيث تُنقل إلى أقرب مجرى مائي لتُطرح فيها بلا معالجة. تغسل مياه الأمطار الملوِّثات من على الأسطح، والشوارع، ومن مناطق أخرى، وبالرغم من أن الحمولة الملوثة لأول دفقات مياه الأمطار قد تكون خطيرة، إلا أن الكمية الكليّة لأنظمةِ مياه عصف منفصلة ضئيلةً نسبياً مقارنةً بطروحات مياه أخرى. وللكثير من المدن الكبرى نظام مجارير مُتحدة تُجمّع فيها مياه العصف ومياه الصرف في شبكة الأنابيب نفسها.

يُعترض انسياب الطقس الجاف في المجارير المتحدة ويُنقل إلى محطة المعالجة لمعالجته، ولكن في أثناء العصف، يُمرر الانسياب الذي يتجاوز قدرة المحطة جانبياً مباشرة إلى مجار مائية تتلقاه. ويمكن أن يشكل ذاك تلوّثاً خطيراً وخطراً صحياً إن استخدم الجسم المائي المستلِم لهذه الكميات كمصدر للتجهيز بمياه الشرب.



شكل 9-1: مصادر مياه الصرف المدنية بالعلاقة مع مجارير التجميع والمعالجة. يظهر الشكل أيضاً إعادة الاستخدام في الري، والمناطق السكنيّة، وفي الأغراض الصناعية، وطرح التدفّق الخارج في مجاري المياه السطحية، وطرح مستقل للمياه الصناعية الرمادية

ويتمثّل أحد حلول ذلك بفصل المجارير المتحدة، غير أن كلفته في المدن الكبرى باهظة، بالرغم من إمكانية إنجازه بكفاءة، نظراً إلى قلة المجارير المتحدة في نظام صرف المدينة.

9-1 مياه الصرف المحلية

يتباين حجم مياه الصرف لتجمّعٍ بين 50 gpcd و 250، تبعاً لاستخدام المجاري. والقيمة الشائعة لانسياب مياه الصرف المحلية هي 120 gpcd (450 1/person . d)،

بافتراض توفر أدوات حديثة كالغسالات الأوتوماتيكية في الشقق السكنية، مسؤولةً عن بعض الرشح والانسياب الداخل إلى فتحات وأنابيب المجارير. تبلغ كمية المادة العضوية التي يساهم بها كلُّ شخص يومياً في مياه الصرف المحلية (110 g) 0.24 lb تقريباً من المواد المعلقة و0.20 lb (90 g) من BOD في تجمّعات يُطرح فيها قسم أساسي من نفايات المطابخ المنزلية في نظام المجاري عبر طاحونة نفايات. وفي اختيار بيانات التصميم، فإن كمية مياه الصرف وقوتها العضوية يجب أن تستند إلى قياسات فعلية نُفّذت على مدار العام لتفسير التغيّرات الناتجة من تغيرات مناخية فصلية وعوامل أخرى. ويمكن استخدام متوسط القيم خلال شهر الذروة في التصميم. وباستثناء الرشح غير الاعتيادي، فإن انسياب متوسط مياه الصرف الصحي اليومي خلال شهر الذروة في السنة، يكون عادةً أكثر بـــ 20% و30% من الانسياب اليومي على مدار السنة. وباستثناء الصرف الصناعي الموسمي، فإن حمولة BOD اليومية من مياه الصرف الصحية خلال شهر الذروة أكبر بنسبة 30% أو أكثر من المتوسط السنوي في المحطات الصغيرة (أقل من 0.5 mgd) وأقل من 20% في المحطات الكبيرة (أكثر من 0.5 mgd).

يظهر الجدول 9-1 الانسيابات المقدرة من البيوت السكنية ومن مؤسسات أخرى. تنتنج البيوت المتنقلة والفنادق مياهَ صرف أقل من تلك التي تنتجها المناطق السكنية، نظراً إلى قلة أجهزتها. تعتمد كمية مياه وقوة مياه الصرف من المدارس، والمكاتب، والمصانع، ومؤسسات تجارية أخرى على ساعات التشغيل ووجود تجهيزات طعام. وبالرغم من أن الكافتريات لا تنتج كميات انسياب كبيرة، إلا أن قوة مياه صرفها متزايدة مادياً من خلال إعداد الطعام والتنظيف.

تتضمن القيمة الشائعة لمياه الصرف الصحي البالغة 120 gpcd مياه صرف سكنية وصناعية إضافة إلى كمية رشح مُعتبرة، لكنها تستبعد الطرح الصناعي والانخفاض في الانسياب المُصاحب للمحافظة على المياه. وفي بعض المناطق خَفضت المحافظة على المياه الانسياب إلى حد كاف للتأثير في زيادة تراكيز BOD للمواد المعلّقة. تتراوح قيم الانسياب بين 80 gpcd و100 gpcd، وينبغي اختيار تراكيز حمولة التصريف مع إدراك لطبيعة المياه المحلية، ولإعداد الطعام، ولعادات

التصريف. إن خصائص مياه الصرف هذه قبل المعالجة، وبعد الترسب، وبعد المعالجة الحيوية التقليدية موضحة في الجدول 9-2. تتضمن المواد الصلبة الكلية المتبقية عن التبخر كلاً من الأملاح المُذابة والمواد العضوية، وتتمثل هذه الأخيرة بجزء المواد الطيارة. ويعتبر BOD مقياساً لقوة مياه الصرف. يقلل ترسيب مياه صرف محلية نموذجية الـ BOD بنسبة 35% تقريباً والمواد المعلقة بنسبة 50%. تخفف المعالجة، بما في ذلك المعالجة الحيوية الثانوية، الـ BOD ومحتوى المواد المعلقة بأكثر من 85%، والـ المواد الصلبة الطيارة بنسبة 50%، والنتروجين الكلي بنسبة 25% تقريباً، والفوسفور بنسبة 20% فقط.

جدول 9-1: الانسيابات التقديرية لمياه الصرف لأنواع مختلفة من المؤسسات والخدمات

النمط	غالون للفرد باليوم	باوند من BOD للفرد باليوم
مياه محلية من مناطق سكنيّة		
منازل أسرة واحدة كبيرة	120	0.20
منازل أسرة واحدة نموذجيّة	80	0.17
دور لعائلات متعدّدة (شقق)	75 - 60	0.17
دور صغيرة أو أكواخ	50	0.17
مياه صرف محلية من المخيمات والموتيلات		
منتجعات فاخرة	150 - 100	0.20
مواقف للبيوت المتنقلة	50	0.17
مخيمات سياح أو مواقف مقطورات	35	0.15
فنادق وموتيلات	50	0.10
مدارس		
مدارس داخلية	75	0.17
مدارس نهارية مع كافتيريا	20	0.06
مدارس نهارية بدون كافتيريا	15	0.04
مطاعم		
لكل موظف	30	0.10

لكل زبون	10 - 7	0.04
لكل وجبة مقدمة	4	0.03
محطات النقل		
لكل موظف	15	0.05
لكل مسافر	5	0.02
مشافي	300 - 150	0.30
مكاتب	15	0.05
مسارح حضور بالسيارات لكل موقف	5	0.02
دور سينما لكل مقعد	5-3	0.02
مصانع، باستثناء صرف المصانع	30 - 15	0.05

جدول 9-2: التركيب التقريبي لمتوسط مياه صرف صحي (mg/l) استناداً إلى قيمة 120 gpcd (450 l/person . d)

المعامل	مياه خام	بعد الترسيب الأولي	بعد المعالجة البيولوجية
مواد صلبة كلية	800	680	530
مواد صلبة طيارة كلية	440	340	220
مواد صلبة معلّقة	240	120	30
مواد صلبة معلقة طيّارة	180	100	20
احتياج أكسجين حيوي	200	130	30
نتروجين لاعضوي بصيغة N	22	22	24
نتروجين كلي بصيغة N	35	30	26
فوسفور ذوّاب بصيغة P	4	4	4
فوسفور كلي بصيغة P	7	6	5

يشير فائض المغذيات في التدفّق الخارج المعالج إلى أن مياه الصرف الصحي ذات محتوى من النتروجين والفوسفور فائض عن الاحتياجات الحيوية. إن النسبة

الوزنية BOD/N/P المقبولة عموماً، والمطلوبة للمعالجة الحيوية هي 100/5/1 (100 mg/l BOD، إلى 5 mg/ l من النتروجين، إلى 1 mg/l من الفوسفور). ولمياه الصرف الصحي الخام نسبة تبلغ 100/17/3، وتصبح 100/23/5 وعليه هناك نتروجين وفوسفور فائض للنمو الجرثومي. (تعتمد نسبة BOD/N/P الدقيقة المطلوبة للمعالجة الحيوية على المعالجة وعلى توفر N وP للنمو، وتستخدم عادةً 100/6/1.5 لمياه الصرف الصحي غير المترسبة، وتستخدم 100/3/0.7 عندما يكون النتروجين والفوسفور بصيغة ذوّابة). وهناك خصيصة أخرى هامة لمياه الصرف هي أنه ليست كل المواد العضوية قابلة للتحلل حيوياً. بالرغم من أن جزءاً كبيراً من الكربوهيدرات، والدهون والبروتينات سيتحول إلى ثاني أكسيد الكربون بالفعل الجرثومي، فإن حمأة صرف مكافئة لـــ 20% إلى 40% من الـــ BOD المُضاف، ناتجة عن معالجة حيوية.

يُعبّر عادةً عن الحمولة على وحدات المعالجة، بتعبير باوند من الـــ BOD باليوم، أو باوند من المواد الصلبة باليوم، وكذلك كمية الانسياب باليوم. وتستند العلاقة بين متحوّلات التركيز والانسياب، إلى عوامل التحويل الآتية: 1.0 mg/l والتي تساوي جزء بالمليون (ppm) وزناً وهي تكافئ 8.34 lb/mil gal، نظراً إلى أن 1 gal من الماء يزن 8.34 lb أو 62.4 lb/mil gal ، نظراً إلى أن 1 cu ft من الماء يزن 62.4 باوند. لقد حُدّدت هذه العلاقات بالمعادلات الآتية:

الكربون بالباوند = تركيز الكربون (mg/l) × Q(mil gal) × 8.34 **(1-9)**

الكربون بالباوند = تركيز الكربون (mg/l) × Q(mil cu ft) × 62.4 **(2-9)**

حيث C = BOD، SS، أو أيّ مكوّن، mg/l

Q = حجم مياه الصرف، mil gal أو mil cu ft

$$8.34 = \frac{\text{lb/mil gal}}{\text{mg/l}}$$

$$62.4 = \frac{\text{lb/mil cu ft}}{\text{mg/l}}$$

تظهر الحسابات في المثال 9-1 أن 120 gal من مياه الصرف الصحي، كما هي موصوفة في الجدول 9-2، تحوي 0.20 lb من الـــ BOD و0.24 lb من المواد الصلبة المعلّقة. تظهر الأمثلة 9-2 و9-3 تطبيقين للمعادلتين 9-1 و9-2.

مثال 9-1

تبلغ مياه الصرف الصحي لتجمّع سكني 120 gpcd، تحوي 200 mg/l من الـــ BOD و240 mg/l من المواد الصلبة المعلقة. احسب كميتي الـــ BOD وSS (مواد صلبة معلقة) بالباوندات لكل فرد.

الحل

باستخدام المعادلة 9-1

$$\text{BOD} = 200\ \text{mg/l} \times\ 0.000120\ \text{mil gal} \times 8.43\ \frac{\text{lb}}{\text{mil gal . mg/l}} = 0.20\ \text{lb}$$

$$\text{SS} = 240\ \text{mg/l}\ \text{x}\ 0.000120\ \text{mil gal}\ \text{x}\ 8.43\ \frac{\text{lb}}{\text{mil gal . mg/l}} = 24\ \text{lb}$$

مثال 9-2

مياه صرف صناعي (جدول 9–4) ذات انسياب إجمالي يبلغ 2930000 gpd ذات BOD قدره 21600 lb/day، ومواد صلبة معلقة قدرها 13400 lb/day، احسب تراكيز BOD وSS.

الحل

من العلاقة بالمعادلة 9-1

$$\text{BOD}\ \text{تركيز} = \frac{21600\ \text{lb/day}}{2.93\ \text{mil gal/day} \times 8.34}$$

$$\text{BOD}\ \text{تركيز} = 880\ \text{mg/l}$$

$$\text{SS}\ \text{تركيز} = \frac{13400\ \text{lb/day}}{2.93\ \text{mgd} \times 8.34}$$

$$\text{SS}\ \text{تركيز} = 550\ \text{mg/l}$$

مثال 3-9

حوض تهوية حجمه $300 \ m^3$ يحوي خليط سائل (حمأة منشطة مهواة) مع تركيز مواد صلبة معلقة قدره $2000 \ mg/l \ (g/m^3)$. كم يبلغ مقدار المواد الصلبة المعلقة في السائل الموجود ضمن الخزان؟

الحل

$$MLSS = \frac{2000 \ g/m^3 \times 300 \ m^3}{1000 \ g/kg} = 600 \ kg$$

2-9 مياه الصرف الصناعي

تطرح الصناعات الواقعة ضمن حدود المدينة مياه صرفها بشكل اعتيادي في نظام صرف مجارير المدينة بعد معالجة مُسبقة. تُوَجَه مياه التبريد غير الملوثة إلى مجارير مياه العواصف. وفي هذه المعالجة المشتركة لمياه الصرف، تقبل بلدية المدينة مسؤولية المعالجة والطرح النهائيين. وتصبح معظم نفايات التصنيع بعد تخفيفها بمياه الصرف المحلية أكثر سهولة في المعالجة الحيويّة، ولكن ينبغي الأخذ بالاعتبار تأثيرَ الكميات الكبيرة للنفايات عالية القوة في تقدير حجم محطة معالجة المدينة.

يمكن لرمز المجرور، ورسوم المُستخدم، والعقود المستقلة بين الصناعة والمدينة أن توفر تحكماً مناسباً وتخطيطاً مالياً متيناً في تكييف الصناعة، عبر معالجة مشتركة لمياه الصرف الصناعي. يجب أيضاً الأخذ بالاعتبار إجراءَ معالجة مسبقة في الموقع الصناعي لمياه صرف ذات قوة أو خصائص تختلف بشكل كبير عن مياه الصرف الصحي. وينبغي أن تؤخذ بالاعتبار تعديلات العمليات الصناعية، وتمييز وفصل النفايات، وموازنة الانسياب، وتخفيف قوة النفايات. يمكن للتغييرات في عمليات التصنيع وللتعديلات في المعدات، واسترداد النواتج الجانبية، وإعادة استخدام مياه الصرف ضمن المصنع أن تسبب خفضاً في تكاليف كل من التجهيز بالمياه وبمعالجة مياه الصرف. تَفرض تصاميم المشاريع الصناعية الجديدة تمييز جداول مياه الصرف المستقلة من أجل معالجة إفرادية مسبقة، والتحكم بمقدار المزج، أو الطرح المنفصل.

وينطبق هذا الأخير على كلٍّ من مياه التبريد غير الملوثة والتي يمكن طرحها مباشرةً في مجاري المياه السطحية، والنفايات السامّة التي لا يمكن أن تُعالج بشكل مناسب في محطة معالجة المدينة، وينبغي أن يتم طرحها من قبل الصناعة. يمكن لطرح صناعي محدّد، كنفايات صناعة الألبان أن تُخفف قوتها بسهولة أكبر من خلال معالجتها وهي بصيغتها المركزة في موقعٍ التصنيع أو أن تُسحب إلى المحطة لهضمها. كما يجب جلب الزيوت والدهون المتبقية في المطاعم إلى المحطة إما لطرحها أو لهضمها. أما الصناعات الأخرى كتلبيس المعادن فتتطلب معالجةً مسبقةً لإزالة الأيونات المعدنية السامّة. فإن كان مخططاً إعادة استخدام مياه الصرف المدنية، فالأمر يتطلب عندئذ رقابةً وإشرافاً أكثر صرامةً على الطروحات الصناعية، نظراً إلى أن الكثير من المواد في مياه صرف التصنيع قد أُزيلت جزئياً فقط بمعالجة تقليدية، وسوف تتداخل مع إعادة استخدام المياه.

إن مقاييس EPA المحددة لبرنامج المعالجة المسبقة لفرض ثلاثة أنماط عامة من الطرح هي، طروحات ممنوعة، طروحات مطلقة غير مقيّدة، وقيود على المعالجة المسبقة المحلية. إن الطروحات الممنوعة، مقاييس وطنية قابلة للتطبيق على كافة الطروحات الصناعية، بغض النظر ما إذا كان لدى محطة المعالجة ترخيص NPDES أم لا. تقوم المقاييس المذكورة بالوقاية من المواد الكيميائية التي تمرّ عبر المعالجة التقليدية، وتهدف إلى تعزيز الأمان، وخاصة في ما يتعلق تجاه المواد الصلبة الحيوية. أما الطروحات المطلقة غير المقيدة فقد أُقرّت في ترخيص NPDES لمحطات المعالجة المملوكة من قبل العامة. وهي طروحات تتعلق بمياه صرف ذات معالجة خاصة وأصناف صناعية خاصة تنطبق على كلٍّ من نظام الجمع ومحطات المعالجة نفسها. في حين طوّرت قيود المعالجة المسبقة المحلية لتلبية احتياجات وقدرات خاصة لمحطات معالجة مفردة ولفرض قيود طرح حمايةً للمياه التي ستستقبل هذه الطروحات. يظهر الجدول 9-3 خصائص أربعة أنواع من مياه الصرف الصناعي لمقارنتها بمياه الصرف الصحي الموصوفة في الجدول 9-2. تكون قيم تراكيز BOD فيها أكبر بـــ 5 أمثال إلى 20 مثل قيمتها في مياه الصرف المحلية. وكذلك يكون تركيز المواد الصلبة الكلية أعلى، لكنه يتباين في طبيعته من مواد عضوية غروية

ومواد عضوية مُذابة في مياه صرف عمليات معالجة الأغذية إلى أملاح لاعضوية سائدة، كمياه صرف الكلوروفينول. إن تركيز المواد الصلبة المعلقة بالنسبة إلى BOD هامة، عند أخذ الترسيب الأولي التقليدي والمعالجة الحيوية الثانوية بالاعتبار. إن ترسيب مياه صرف صناعة المنسوجات الصناعية، ذات نسبة مواد صلبة معلقة إلى BOD قدرها 2000 mg/l إلى 1500 mg/l ستكون فعالةً كفاعلية ترويق مياه صرف صحي بنسبة 240/200، ولكن ترسيب مياه صرف معالجة الحليب بنسبة مواد صلبة معلقة إلى BOD تقع بين 300 و1000 mg/l ، لن تزيلَ إلا القليل من المادة العضوية. إضافة إلى القوة والقابلية للترسب، ينبغي أن تولى محتوى المغذيات، والدهن، والسُميّة، اعتباراً خاصاً. تحوي مياه صرف معالجة الأغذية نتروجيناً وفوسفوراً كافيين للمعالجة الحيوية، لكن الطروحات الآتية من الصناعات الكيميائية والعتاد، فقيرة بالمغذيات المساعدة على النمو. إن مياه صرف الكلوروفينوليك الموضّحة بالجدول 9-3 لا يمكن طرحها في المجارير بدون تخفيف كبير للفينول، والحدود المنصوص عنها بالقوانين تقع بين 1 mg/l - 0.5. تتم معالجة مياه صرف تعدين المعادن مسبقاً لإزالة، الزيت، والسيانيد، والكروم ومعادنَ ثقيلة أخرى، بحيث يكون الطرح المعالج مسبقاً ذا ملوّثات أقل من مياه الصرف المحلية. يتوجّب على كل بلدية أن يكون لديها كشف بمياه الصرف الصناعي التي تُطرَح في نظام المجارير الصحية/كما هو مبين في الجدول 9-4.

جدول 9-3 متوسط خصائص مياه صرف صناعي منتقاة

BOD، mg/l	معالجة الحليب	تعبئة اللحوم	النسيج الاصطناعي	تصنيع الكلوروفينوليك
	1000	1400	1500	4300
COD mg/l	1900	2100	3300	5400
مواد صلبة كلية،	1600	3300	8000	53000
SS mg/l	300	1000	2000	1200

نتروجين mg/l N	50	150	30	0
فوسفور mg/l P	12	16	0	0
pH	7	7	5	7
درجة الحرارة،	29	28	–	17
دهن mg/l	–	500	–	–
كلور mg/l	–	–	–	27000
فينول mg/l	–	–	–	140

وفي هذه المدينة كان المنتج المساهم الأساسي لمياه الصرف هو صناعات معالجة الغذاء. بينما كانت قوة مياه صرف التصنيع الناتجة من منتجات المطاط، والأعمال المعدنية، ونسج السجاد قابلة للمقارنة أو تقل عن مياه الصرف المحلية.

جدول 9-4 نتائج مسح مياه الصرف الصناعي ضمن المدينة، جُدوِلت الطروحات في المجارير الصحية في مدينة عدد سكانها 145000 نسمة

	الانسياب	BOD		موادّ معلّقة		COD	شحم
	(gpd)	(mg/l	(lb/day)	(mg/l)	(lb/day)	mg/l	(lb/day)
معالجة اللحوم	1200000	1300	13000	960	9600	2500	460
استخلاص زيت الصويا	478000	220	880	140	560	440	-
منتجات مطاط	189000	200	310	250	390	300	-
أيس كريم	138000	910	1050	260	300	1830	-
طلاء معادن	110000	3160	2900	970	890	5600	-
جبنة	108000	8	7	27	24	36	-

مصنع سجاد	103000	140	120	60	51	490	-
سكاكر	97700	1560	1270	260	210	2960	200
دراجة بمحرك	93500	30	23	26	20	70	-
رقائق بطاطا	90400	600	450	680	510	1260	-
طحين	83100	330	230	330	250	570	-
معالجة حليب	65100	1400	760	310	170	3290	-
غسيل صناعي	50000	700	290	450	190	2400	520
صيدلانية	40700	270	91	150	50	390	160
مسلخ دجاج	35300	200	59	310	90	450	-
لحوم لانشون	20900	270	47	60	10	420	-
مرطبات	16000	480	64	480	64	1000	-
تعبئة حليب	12700	230	24	110	12	420	-
إجمالي	2930000		21600		13400		

إن مياه الصرف الصناعية المعبر عنها بكمية الانسياب وبكمية الـــ BOD مقدرة بالباوند، ليست بذات معنى بالنسبة إلى الرأي العام. ولذلك، يمكن للكمية وللقوة أن يُربَطا بعدد الأشخاص الذين سيكونون مطالبين بالمساهمة بكمية مماثلة من مياه الصرف. تبلغ المكافِئات الهيدروليكية ومكافئات الـــ BOD، بناءً على متوسط مياه الصرف الصحي، مقدار 120 gpcd و0.20 lb من الـــ BOD/ للشخص في اليوم

على التوالي. فإضافةً إلى عدد السكان المكافئ، فإنه من المرغوب، التعبير عن كمية مياه الصرف المُنتَجة لوحدة المواد الخام المُعالَجة أو للمُنتج النهائي المُصنّع. تعرض الأمثلة 9-4 و9-5 إنتاج مياه الصرف وحسابات عدد السكان المكافئة.

مثال 9-4

تعالج منشأة ألبان 250000 باوند من الحليب يومياً بمتوسط إنتاج قدره 65100gpd من مياه صرف بمحتوى BOD قدره 1400 mg/l. والعمليات الأساسية للمنشأة هي تعبئة زجاجات حليب وصناعة أيس كريم، مع إنتاج محدود من الجبنة الريفية. احسب الانسياب والـ BOD في 1000 باوند من الحليب المُستَلم، وعدد السكان المكافئ تبعاً للطرح اليومي لمياه الصرف.

الحل

الانسياب لكل 1000 باوند من الحليب

$$= \frac{1000}{250{,}000\ \text{lb/day}} \times 65{,}100\ \text{gpd} = 260\ \text{gal}$$

BOD لكل 1000 باوند من الحليب

$$= \frac{0.0651\ \text{mil gal/day} \times 1400\ \text{mg/l} \times 8.34}{250000\ \text{lb/day}} = 3.0\ \text{lb}$$

عدد السكان المكافئ للـ BOD

$$= \frac{0.0651\ \text{mil gal/day} \times 1400\ \text{mg/l} \times 8.34}{0.20\ \text{lb BOD/person/day}} = 3800\ \text{شخص}$$

عدد السكان المكافئ هيدروليكياً

$$= \frac{65000\ \text{gal/day}}{120\ \text{gal/peson/day}} = 540\ \text{شخص}$$

مثال 9-5

تَذبح منشأة لمعالجة اللحوم متوسطاً قدره 500000 kg من الأبقار يومياً، يُنقل معظمُه بحراً بهيئة أنصاف ذبائح تمّ إعدادُها ودمغها، مع بعض إنتاج اللحم المعلب. يتمّ استرداد دمها كمنتج جانبي قابل للبيع، بينما يُزال روث كروشها (محتويات غير

مهضومة في المعدة) بالغربلة ثم ينقل لدفنه بمقلب دفن النفايات، كما يتم ترسيب مياه الصرف المُعالجة وكشط زَبَدها بهدف استرداد المواد الصلبة الثقيلة وبعض الشحم لإذابته مع نواتج تنظيف اللحم لإعداد دهن غير قابل للأكل. وبعد هذه المعالجة المسبقة، يبلغ مياه الصرف التي تطرح في مجارير المدينة $45000\ m^3/day$ تحتوي على $1300\ mg/l$ BOD . احسب نفاية BOD لكل 1000 kg من وزن الأبقار الحية المعدة للذبح، وعدد السكان المكافئ استناداً إلى الانسياب اليومي لمياه الصرف.

الحل

BOD لكل 1000 كغ من وزن الأبقار الحية المعدة للذبح

$$\frac{4500\ m^3/d \times 1300\ mg/l}{500{,}000\ kg/d\ \times\ 100\ g/kg} = 11.7\ kg$$

عدد السكان المكافئ للـــ BOD

$$= \frac{4500\ m^3/d \times 1300\ mg/l}{90\ g/d\ BOD/person\ .d} = 65000 \text{ فرد}$$

عدد السكان المكافئ هيدروليكياً

$$= \frac{4500\ m^3/d \times 1000\ l/m^3}{450\ l/person\ .d} = 10000 \text{ فرد}$$

3-9 الرشح والانسياب للداخل

الرشح (Infiltration) هو مياه جوفية تدخل إلى المجارير ووصلات الأبنية عبر وصلات معطلة أو أنابيب وفتحات مكسورة أو مشقّقة. أما الانسياب للداخل فهو المياه التي تُطرح إلى داخل أنابيب المجارير أو وصلات الخدمة عبر مصادر مثل ارتشاح الأساس، وانسياب الأسطح، ارتشاح الأقبية والساحات، ومياه التبريد الناتجة من المكيفات، وطروحات مياه نظيفة أخرى من مؤسسات تجارية وصناعية. ومقارنةً بمجارير مياه العواصف، فإن خطوط الصرف الصحي المُستخدمة صغيرة، تمّ انتقاء حجمِها للتعامل مع مياه الصرف المحلي والصناعي فقط إضافةً إلى رشح

مقبول. يمكن للرشح والانسياب للداخل الفائضين أن يسبّبا مشاكل جديةً عديدةً، بما فيها حمولة زائدة على خطوط المجاري ورجوع مياه الصرف الصحي إلى الطوابقِ الأرضية للبيوت، وغمر الشوارع ومناطق الطرق، وتجاوزَ حمولة محطات المُعالجة، وتجاوزَ محطات الضخ ومنشآت المعالجة.

تعتمد كمية رشح الماء الداخلة إلى مجرور ما، على عدد الأنابيب وحالتها ووصلاتها، ومنسوب المياه الجوفية، والفتحات وبنيتها، والأساليب المتّبعة في التركيب. إن استخدامَ المواد المالئة ومواد عزل المياه مع إجراءات تركيب أكثر إحكاماً يخفّف كمية الرشح. ويمكن تقدير الانسياب للداخل الفعلي ومعدّلات الرشح لنظام ما، من مقارنة انسياب الطقس الرطب بانسياب الطقس الجاف. تساعد مراقبة الانسياب ضمن نظام المجارير في تحديد مناطق الخلل، كما تمكّن من التمييز بين التسرب للداخل والرشح عبر مقارنة انسياب المجارير في أثناء حدوث العواصف ومناسيب المياه الجوفية. وتُستخدم لأغراض التخطيط إعانات مخصّصة للرشح بهدف وضع مقاييس لتصميم وطرق تركيب المجارير. ويتم عادةً تكييف قيم هذه المقاييس لتعكس ظروف المناخ والتربة أو لتقدير سياسة تخصيص تكلفة تركيب المجرور مقابل المعالجة. وبوضع تقديرات تخطيط بناء جديد، قد يُقدر انسياب الرشح بعدد الغالونات (لترات) بالدونم باليوم، أو بالنسبة المئوية للانسياب لكل فرد. تتراوح قيم ذلك بين 700 و1500 gal/day/acre (6600 إلى 14100 l/d/ha). تتراوح النسب المئوية من 3% إلى 5% من معدّل الانسياب المحلي ساعة الذروة، أو 10% من المتوسط. وتستند تقديرات للرشح أكثر دقّة إلى قطر الأنبوب وطوله. تتراوح تقديرات الرشح بين 200-500 gal/day per in. diameter per mile of pipe (غالون في اليوم لكل إنش من قطر الأنبوب لكل ميل من طوله)، 185-465 l/d/cm-dia./km (185 إلى 465 لتراً في اليوم لكل سنتمتر من قطر الأنبوب لكل كيلومتر من طوله). تتباين معدّلات الرشح بتباين منسوب المياه الجوفية، ومادة الأنبوب، والمواد المُستخدمة في صناعة الفتحات، والسيفونات وبنى المجارير. تُفضّل الكثير من الوكالات قيماً منخفضةً كي تُحسّن التصميمَ والتركيب.

تزداد معدّلات الرشح مع الزمن نظراً إلى أن حركات التربة وترديها تشكّل شقوقاً في الفتحات والأنابيب وتفتح الوصلات وتؤثّر في أنظمة عزل الماء. يتضمّن تصحيح ظروف الرشح في أنظمة المجارير الموجودة حالياً تقييم وتفسير ظروف انسياب المجارير لعزل وتقدير المصدر ومعدل الرشح الفائض. لقد واجهت مدن عديدة، وبعد صرف نفقات كبيرة في أنظمة الجمع، حدوث رشح خطير في وصلات الخدمة بين المجرور والبيوت. وتتضمّن التقنيات الراهنة لتخفيف الرشح، تبطين الفتحات وأنابيب المجارير، واستبدالَ الأنبوب في مكان تعطّل الوصلات، وطلي مكان التسرّب بمادة عازلة وإحكام تكتيم التربة المحيطة. إن كل هذه البدائل مُكلفة ويجب تقييمها بعلاقتها مع كلفة المعالجة. إن الانسيابَ للداخل نتيجةً لربط مُتعمّد لمصدر مياه خارجيٍّ مع نظام المجاري الصحية. وبالرغم من أنه يجب طرح مياه العواصف أو الجريان السطحي في مجارير مياه العواصف، إلا أن نظام المجاري الصحية قد يكون أكثرَ ملائمةً.

تتضمّن الوصلات المباشرة مزاريب الأسطح، وارتشاح الأساسات، وارتشاح الأقبية وآبار المراحيض، وارتشاح الدروب، والساحات والشوارع. وقد تكون الأغطية المثقّبة الفتحات، أو أغطية مزاحة عن الفتحات في المناطق المغمورة بمياه الفيضان مصدراً هاماً للتسرّب الداخل. ويجب أن تُشدّد القوانين المتعلقة بمجارير المدينة بوضوح على منع أيّ وصلات مباشرة تتسبب بانسياب للداخل. وبوضع تقديرات تخطيط بناء جديد، يُفترض عدم توقع حدوث انسياب للداخل، إلا أن الكثير من البلديات تخصص إعانات للانسياب للداخل يتراوح من صفر، حيث يتضمن ذلك فيه انسياباً للداخل بقيمة 120 gal/capita-day إلى 5 gpcd (460 l/person . d). يمكن لمعظم مصادر التسرب للداخل كنتيجة لوصلات مباشرة، أن تُحدَّد بسهولة باختبار الدخان. سيخرج الدخان المُدخل في نظام المجاري بين فتحتين معزولتين، من قمّة المزراب الداخل إلى الأسفل، وإلى داخل المنزل الذي أُدخلت فيه وصلات مباشرة. بينما يكون من الأصعب تحديد مكان الوصلات إلى ارتشاح الأساسات وبئر المرحاض. وبتأمين وصلات مع المجارير الصحية، سوف يقلُّ الانسياب.

مثال 6-9

احسب الرشح وقارن كميّته بمتوسط الانسياب اليومي والانسياب المحلي ساعة الذروة لما يأتي:

السكان المخدمون بمجارير = 24000 فرد

متوسط الانسياب اليومي = 100 gpcd

الانسياب المحلي ساعة الذروة = 240 gpcd

معدل الرشح = 500 gpd/mile/in. من قطر أنبوب الصرف الصحي

نظام المجارير الصحية:

4 in. مجارير أبنية = 36 ميل

8 in. مجارير جانبية = 24 ميل

10 in. مجارير تحت رئيسية = 6 ميل

12 in. مجارير اتصال تبادلي = 6 ميل

الحل

$$\text{الرشح (gpd)} = \text{معدل}\left(\frac{\text{gal}}{\text{day}\times\text{miles}\times\text{in.}}\right)\times\text{الطول (miles)}\times\text{نصف القطر (in.)}$$

$$= 500\,(4\times 8 + 36\times 10 + 24\times 12 + 6\times 6) = 234000\ \text{gpd}$$

$$\text{متوسط الانسياب اليوميّ} = 24\ 000\times 100 = 2\ 400\ 000\ \text{gpd}$$

$$\frac{\text{الرشح}}{\text{متوسط الإنسياب المحلي}} = \frac{234\,000}{2\,400\,000}\times 100 = 9.8\%$$

$$\text{الانسياب المحلي ساعة الذروة} = 24{,}000\times 240 = 5\ 760\ 000\ \text{gpd}$$

$$\frac{\text{الرشح}}{\text{الانسياب المحلي ساعة الذروة}} = \frac{234\,000}{5\,760\,000}\times 100 = 4.1\%$$

4-9 مياه الصرف المدنية

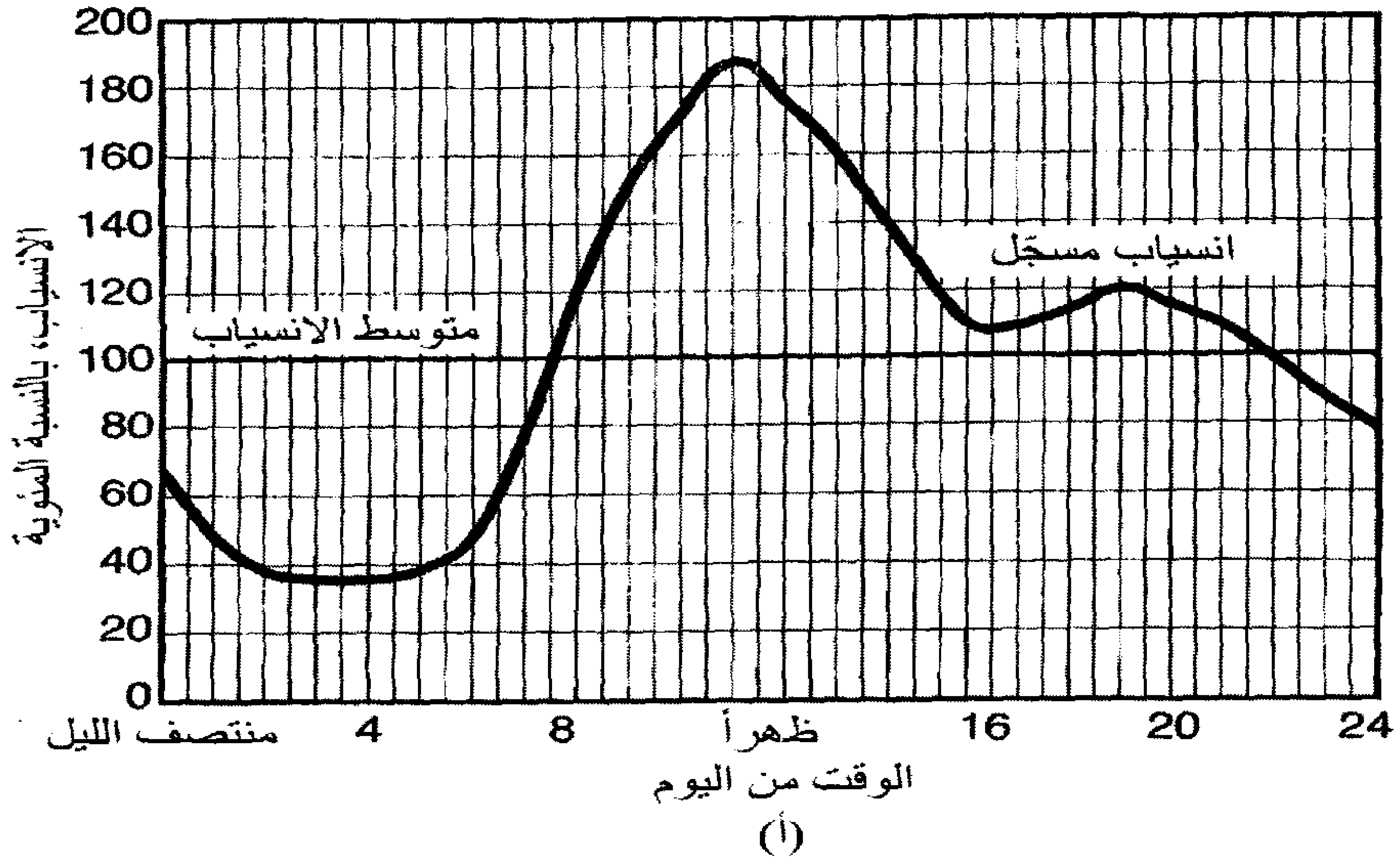
كما يظهر الشكل 9-1، فإنّ الانسياب في المجارير الصحية هو انسياب مركّب من مياه صرف محلية وصناعية، ورشح وانسياب للداخل، وانسياب معترض من المجارير المشتركة. ينبغي للمجارير الجامعة أن تكون قدرتها الهيدروليكيّة تفي بمعالجة أقصى انسياب ساعي، بما في ذلك الانسياب المحلي والرشح، إضافة إلى أيّ صرف إضافيٍّ متأت من المشاريع الصناعية. تُصمّم أنظمة المجارير الجديدة عادةً على أساس متوسط انسياب يومي للفرد يتراوح بين 100 gal و120 gal (400– 480) ليتراً، ويتضمن هذا رشحاً عادياً. لكن يجب أن يُنتقى حجم أنابيب يستوعب انسيابات الذروة والتي يفترض بها عادةً أن تكون بحدود 400 gpcd (950 l/person . d) للمجارير الرئيسة، ومجارير الاتصال التبادلي، ومجارير المصب، وكذلك في حال وجود مجارير معترضة تجمع انسيابات أنظمة مجارير مشتركة تبلغ 350% من متوسط انسياب الطقس الجاف. يكون التصريف ساعة الذروة في المجارير الرئيسة ومجارير الاتصال التبادلي أقل من الانسياب الأعظمي في المجارير الجانبية والمجارير تحت الرئيسة، نظراً إلى ميل قيم الذرى الهيدروليكيّة إلى تسوية التفاوتات في ما بينها مع مرور انسياب مياه الصرف خلال شبكة الأنابيب، ضاماً إليه عدداً متزايداً من الوصلات.

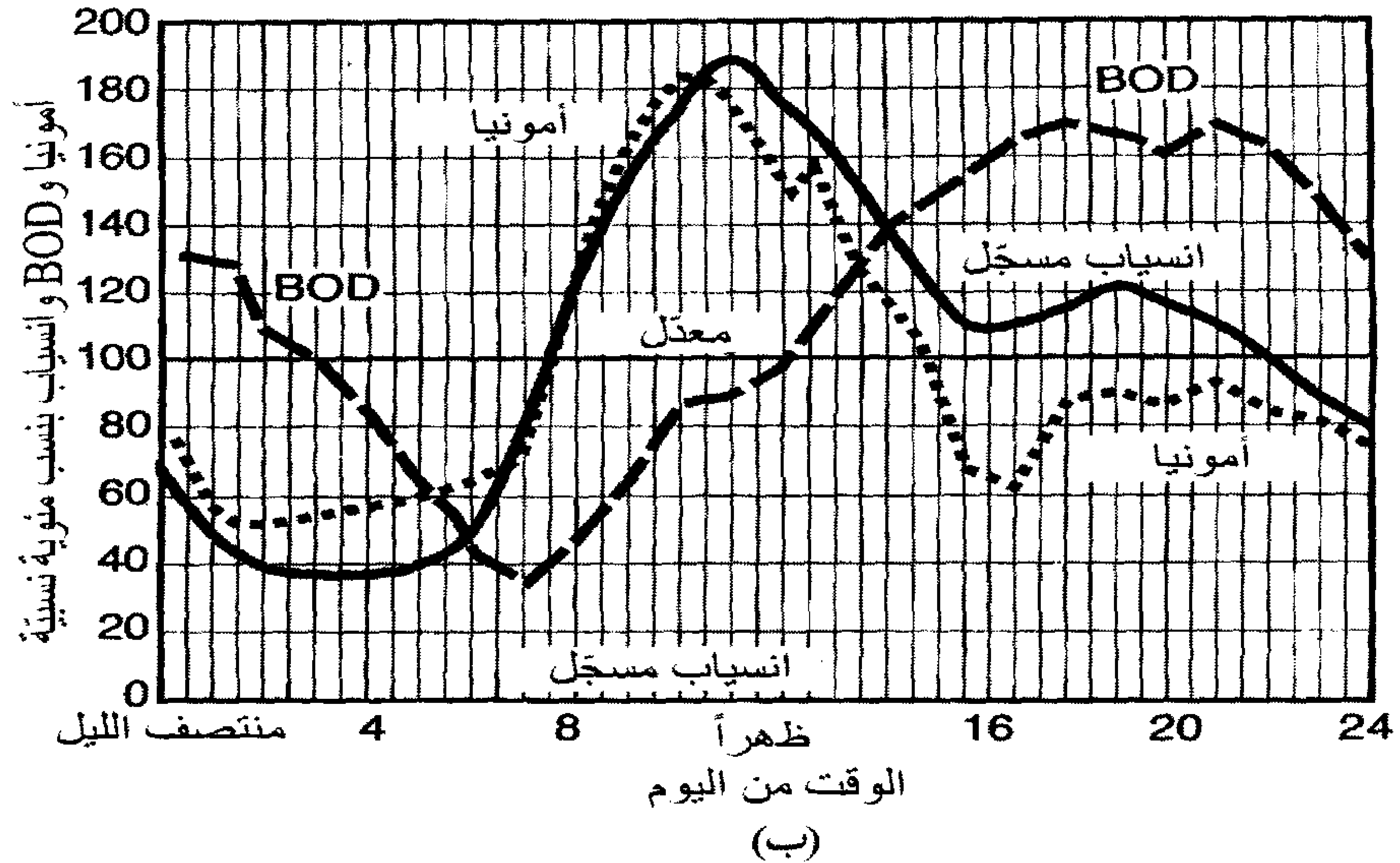
لقد طُوِّرت معادلات متعدّدة لتقدير عوامل تصاعد كمية انسياب مياه الصرف. يَستخدم بعض هذه المعادلات عدد السكّان ويستخدم بعض آخر الانسياب كمقامات في كسورها. لقد اشتُقّت المعادلات التالية افتراضياً بناءً على الانسياب.

$$PF= \frac{2.5}{Q^{0.145}} \qquad \textbf{(3-9)}$$

حيث: PF = عامل تصاعد، بلا وحدة

Q = الانسياب، ملايين الغالونات في اليوم mil gal/day





شكل 9-2: تغيرات انسياب وقوة مياه صرف لمدينة متوسطة الحجم نموذجيّة. (أ) نمط انسياب يومي نموذجي عند الظهيرة وعند الساعة السادسة. (ب) تغيرات في الانسياب بالترافق مع تركيزات BOD والأمونيا

يظهر الشكل (9-2أ) نمط الانسياب من نظام مجارير صحية مستقل إلى محطة المعالجة. تتراوح معدّلات الانسياب الساعي من أقل من 40% إلى 190%. يحدث أقلّ انسياب في الصباح الباكر (3-4 فجراً) ويصل إلى ذروته في منتصف

النهار. تهبط الانسيابات نمطياً بعد ذلك بحدّة وتعود لترتفع في بين الساعة 6 و7 مساءً في التجمّعات السكنية. وتتراوح عادةً معدّلات الانسياب الساعي في التجمّعات الصغيرة بين 20% و250% من متوسط الانسياب اليوميّ، ومن 50% إلى 200% في التجمّعات الكبيرة. وتختلف تراكيز الـ BOD والأمونيا في مياه الصرف باختلاف الوقت من اليوم وفق نمط قد لا يتفق مع تغيرات الانسياب، انظر الشكل (9-2ب). تتبع الأمونيا إلى حد بعيد تغيرات الانسياب، ولكن في هذا التجمّع السكني، ترتفع قوة BOD في ما بعد الظهر وتستمر بذلك حتى المساء.

تكون قوة النفايات أكبر ما يمكن عندما تخف انسيابات ذروة الظهيرة وتصل إلى أدنى ما يمكن خلال الليل عندما يكون النشاط في أدنى مستوياته، وتسمح السرعات ضمن الأنبوب بترسّب المواد الصلبة ضمن نظام الجمع. تختلف أنماط تراكيز الـ BOD والأمونيا بشكل كبير ضمن المنشآت تبعاً لزمن المرور من المدينة إلى محطة المعالجة، وميل المجرور، والمساهمة النسبية للنشاط السكاني، والتجاري، والصناعي. ونظراً إلى كون كل من تركيز الانسياب وتركيز الـ BOD معروفين، فإنّه يمكن حساب الزمن - حمولة الـ BOD لمحطة معالجة وأن تُرسم بيانياً كما هو موضّح في الشكل (9-2ب). إن معرفة هيدروليك التدفّق الداخل وحمولات الـ BOD أمر أساسي في تقييم تشغيل محطة المعالجة.

تتأرجح كمية وخصائص مياه الصرف من فصل إلى آخر في السنة، وكذلك بين أيام الدوام وأيام العطل في الأسبوع. وكثيراً ما تتجاوز طروحات الصيف طروحات الشتاء بنسبة تقع بين 10% و20%، كما تنخفض المساهمات الصناعية أيام الآحاد. وتتغير التأرجحات الساعيّة في المدن الكبرى مقارنةً بالمدن الصغرى بسبب تنوع النشاطات والتشغيل الجارية عبر الـ 24 hr في اليوم. يمكن للمساهمات الصناعية ذات القوّة الكبيرة أن تشوّش الانسياب النموذجي وأنماط الـ BOD، وذلك من خلال إبراز هيدروليك الذروة وحمولات الـ BOD خلال ساعات التشغيل. يمكن للرشح وللانسياب للداخل الفائضين أن يتسبّبا في أثناء

تخفيف (diluting) قوة مياه الصرف، بإحداث تأثير معتبر في منشأة المعالجة عبر زيادة كل من المعدل وانسيابات الذروة خلال فترات الهطول المطري الشديد. ينبغي أن تُؤخذ كل هذه العوامل بالاعتبار في تقييم تغيرات انسياب مياه الصرف وقوّته لتجمّع سكنيٍّ محدّد.

مثال 9-7

تتكون مياه الصرف الصحي والصناعي من مياه صرف محلية متأتية من مجارير تجمّعٍ سكاني يبلغ 7500 فرداً، ومياه صرفٍ معالجة بطاطا كميتها 30000 gpd تحتوي على 550 lb من الـ BOD، ومياه صرف مصنع زبدة وقشدة كميتها 120000 gpd وذات تركيز BOD قدره 1000 mg/l. احسب انسياب مياه الصرف المتحد مقدراً بالغالونات باليوم، وتركيز الـ BOD مقدراً بالـ mg/l.

الحل

المصدر	الانسياب gal/day	BOD (lb/d)
محلي	7500×120 = 900000	0.20 × 7500 = 1500
بطاطا	= 30000	= 500
زبدة وقشدة	=120000	0.120 × 1000 × 8.34 = 1000
كلي	1050000	3050

$$\text{تركيز الـ BOD} = \frac{3050\,\text{lb/day}}{1.05\,\text{mil gal/day} \times 8.34} = 348\ \text{mg/l}$$

مثال 9-8

مدينة يبلغ تعداد سكانها 145000 مخدمين بمجارير، ذات متوسط انسياب مياه صرف قدره 18.9 mgd وذات متوسط BOD قدره 320 mg/l. يظهر الجدول 9-4 كشفاً بمياه الصرف الصناعية الداخلة إلى نظام المجارير الصحي. (أ) احسب عدد

السكان المكافئ لانسياب مياه الصرف المدنية هذا متضمناً مياه الصرف الصحية والصناعية. (ب) احسب مساهمة الفرد الواحد في انسياب مياه الصرف الصحي وفي الـــ BOD وذلك اعتماداً على عدد السكان مستثنياً مياه الصرف الصناعي. (ج) احسب عامل انسياب الذروة وانسياب الذروة.

الحل

(أ) في ما يتعلق بمياه الصرف المدنية:

$$\text{عدد السكان المكافئ هيدروليكياً} = \frac{18{,}900{,}000\ \text{gpd}}{120\ \text{gpcd}} = 158\ 000$$

$$\text{عدد السكان المكافئ للـــ BOD} = \frac{18.9\ \text{mgd} \times 320\ \text{mg/l} \times 8.34}{0.20\ \text{lb/person/day}} = 252\ 000$$

(ب) مساهمة الفرد الواحد باستثناء مياه الصرف الصناعي.

$$\text{انسياب صحي} = \frac{18{,}900{,}000 - 2{,}930{,}000}{145{,}000} = 110\ \text{gpcd}$$

$$\text{BOD صحي} = \frac{18.9 \times 320 \times 8.34 - 21\,600}{145\,000} = 0.20\ \text{lb/person/day}$$

(ج) انسياب الذروة اعتماداً على متوسط الانسياب:

$$PF = \frac{2.5}{Q^{0.145}} = \frac{2.5}{18.9^{0.145}} = 1.6$$

$$\text{انسياب الذروة الهيدروليكي} = 1.6 \times 18.9 = 30.2\ \text{gpd.}$$

5-9 اعتيان مركب

إن التقنيات المناسبة للاعتيان أمر أساسي للاختبار الدقيق في أثناء دراسات التقييم. ولكي تكون العينات ممثلةً لكامل الانسياب، ينبغي أن تؤخذ حيث تكون مياه الصرف ممزوجة بشكل جيد. تمثّل العينة العشوائية اللحظية الظروف السائدة في

أثناء الاعتيان فقط، ولا يمكن اعتبارها ممثلةً لفترة زمنية أطول، نظراً إلى أن طبيعة طرح مياه الصرف غير مستقرة. إن العينةَ المُركبة مزيج من عينات عشوائية مفردة تتناسب مع نمط انسياب مياه الصرف. يتم تركيب العينات عادةً عبر جمع عينات منفردة بفواصل زمنية منتظمة، مثلاً على رأس كل ساعة، وبحفظها في ثلاجة أو صندوق ثلج. وتُقرأ معدّلات الانسياب الموافقة بواسطة عدّاد انسياب مُركّب لهذه الغاية، أو يتمّ تقديرها بواسطة أجهزة أخرى لتسجيل الانسياب. ثم يتمّ دمج عينة ممثّلة عبر مزج حصص من كل عينة منفردة بالنسبة إلى معدّلات الانسياب في أثناء زمن الاعتيان.

يتم اختبار العينات المركَّبة التي تمثّل فترات زمنية محدّدة لتقييم أداء المحطة وحمولاتها. والعينات التي تؤخذ على مدار 24 hr في أحد أيام الأسبوع هي الأكثر شيوعاً. تُستخدم بيانات متوسط الـــ BOD اليومي والمواد المعلقة لحساب حمولات المحطة، وتراكيز متوسط التدفقين الخارج والداخل من وإلى المحطة اللذين يُنتِجان ويحدّدان كفاءة المعالجة. تسمح العينات المتكاملة التي جُمِعت خلال فترة انسياب الذروة والتي تتراوح عادةً بين 8 و12 hr تبعاً لتغيرات التدفّق الداخل، بتقدير الحمولات الأعظمية على وحدات المعالجة.

يتم إدراج بيانات الاعتيان في تصميم نسق مناسب لحساب أجزاء العينات العشوائية المنفردة ومكاملتها في عينة مركَّبة. أما قراءات قائس الانسياب (سواء أكانت بمصطلح معدّل الانسياب أو الانسياب الكلي) فيتم تسجيلها، لتقدم معدّل انسياب لكل عينة عشوائية. ولا ينبغي للفاصل الزمني بين جمع العينات أن يكون أكبر من 2 hr، ويفضّل أن يكون 1 hr. تُحدّد الفترة الزمنية لعيّنة مركَّبة و تكرار الاعتيان، وعدد أجزاء العينة العشوائية التي ينبغي دمجها. يعتمد الحجم الكلي للعينة المركَّبة المرغوبة على أنماط وعدد التحاليل المخبرية التي ستُنجز. يجب أن يكون حجم كل عينة عشوائية مأخوذة مناسباً لتوفير الجزء الأعظمي المطلوب عند

الانسياب الأعظمي. يسمى جزء العينة المطلوب في وحدة الانسياب عامل الضرب أو المضاعف، كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

$$\text{المضاعف} = \frac{\text{حجم العينة المركبة المرغوب فيها}}{\text{عدد الأجزاء} \times \text{متوسط معدل الانسياب}} \qquad (4\text{-}9)$$

يظهر الجدول 9-5 نسقاً عاماً لجدولة بيانات الانسياب لحساب أجزاء العينات العشوائية المنفردة التي يجب دمجها للوصول إلى عينة مركَّبة. وفي هذه الحال يسجّل قائس الانسياب، الانسيابَ الكلّي فقط لا معدّل الانسياب. ولذلك تُستخدم القراءات المسجّلة رأس كل ساعة زوجية لحساب متوسط الانسياب خلال فواصل زمنية قدرها ساعتين. تؤخذ عينات عشوائية حجمها 1 liter على رأس كل ساعة فردية. وبعد إتمام فترة 24 hr من تسجيل الانسياب وفترات الاعتيان، تمّ حساب القيم الآتية: متوسط الانسياب الساعي لكل فترة مدتها 2 hr بين قراءات العداد، وعامل الضرب باستخدام المعادلة 9-4 الظاهرة أسفل الجدول، والأجزاء المركَّبة لكل عينة من العينات الإثنتي عشرة المنفردة. فإذا سجل قائس الانسياب، معدّلَ الانسياب، يُمكن للقراءات والعينات أن تُجمّع بشكل متزامن في الساعات الزوجية. يظهر الشكل 9-3 عرضاً بيانياً لعمليات التركيب، يعتمد على بيانات الجدول 9-5، بحيث رسم خط انسياب مياه الصرف عبر معدّلات الانسياب المسقطة والأعمدة الشاقوليّة التي رسمت لتمثّل أجزاءَ العيّنة المركَّبة.

جدول 9-5: نسق عام لتسجيل تركيب عينة مياه صرف من عينات عشوائية منفردة

زمن (hr)	انسياب (m^3)	قراءة المقياس (m^3)	انسياب كلّ ساعتين (m^3)	متوسط انسياب (m^3/hr)		عامل ضرب[أ] ($ml/m^3.hr$)		جزء من العينة المركَّب
1000	69616(2)	69338 (1)	278					
1100				139	×	3.77	=	524

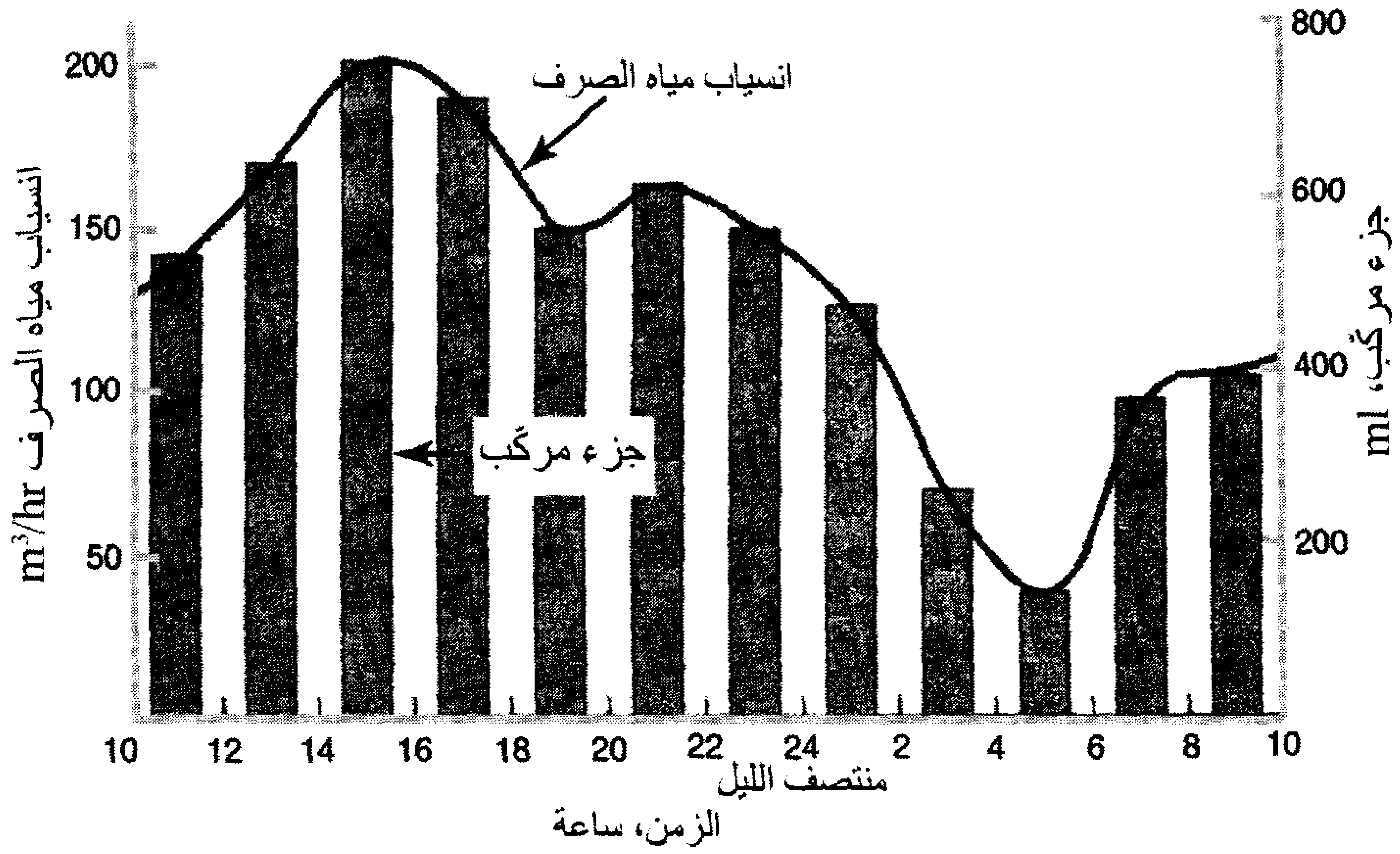
					338	69616 (2)	69954 (3)	1200
637	=	3.77	×	169				1300
					401	69954 (3)	70355 (4)	1400
758	=	3.77	×	201				1500
					377	70355 (4)	70732 (5)	1600
713	=	3.77	×	189				1700
					294	70732 (5)	71026 (6)	1800
554	=	3.77	×	147				1900
					325	71026 (6)	71351 (7)	2000
615	=	3.77	×	163				2100
					301	71351 (7)	71652 (8)	2200
569	=	3.77	×	151				2300
					251	71652 (8)	71903 (9)	2400
475	=	3.77	×	126				0100
					137	71903 (9)	72040 (10)	0200
260	=	3.77	×	69				0300
					73	72040 (10)	72113 (11)	0400
139	=	3.77	×	37				0500
					195	72113 (11)	72308 (12)	0600
370	=	3.77	×	98				0700
					204	72308 (12)	72512 (13)	0800
385	=	3.77	×	102				0900
						72512 (13)		1000
5999				1591	المجموع			

(أ) عامل ضرب = متوسط معدّل الانسياب × عدد الأجزاء/حجم العينة المركّبة المرغوبة

متوسط معدّل الانسياب = 1591/12 = $133\ m^3/hr$

حجم العينة المركّبة المرغوبة = 6000 ml

عامل ضرب = $\frac{6000}{12 \times 133}$ = 3.77 $ml/m^3.hr$



شكل 9-3: نمط انسياب مياه الصرف والأجزاء المركبة مرسومة من البيانات الموافقة ذات الصلّة في الجدول 9-5

مثال 9-9

أخذت عينات ساعية من مياه الصرف الداخلة إلى محطة معالجة. يوضّح الشكل 9-3 نمط الانسياب المسجل. جَدوِل الأجزاء التي ستُستَخدم من العينات العشوائية الساعيّة لتأمين عينات مركَّبة على مدى 24 hr وخلال فترة حمولة قصوى قدرها 8 hr بين 9 صباحاً و5 بعد الظهر. تبلغ أحجام العينات المركبة التي ستحلل مخبرياً حوالى 2500 ml.

الحل

يحسب جزء العينة المطلوب في واحدة الانسياب لتأمين عينة مرطبة حجمها 2500 ml، على مدى 24 hr وخلال فترات قدرها 8 hr باستخدام المعادلة 9-3

$$\text{عامل ضرب لفترة 24 hr} = \frac{2500\ \text{ml}}{720\ \text{gpm} \times 24} = 0.15\ \text{ml/gpm}$$

$$\text{عامل ضرب لفترة 8 hr} = \frac{2500\ \text{ml}}{1000\ \text{gpm} \times 8} = 0.30\ \text{ml/gpm}$$

لقد جدولت حسابات أجزاء العينات الساعية لاستخدامها في تركيب عينة مركبة نسبية منفردة لفترات الذروة اليومية، وكالتالي (أي في فترة ساعة):

التوقيت (hr)	انسياب (gpm) (m^3)	أجزاء العينات الساعية بالـ ml									
		عينة مركّبة لكل 24 hr					عينة مركّبة لكل 8 hr				
منتصف الليل	490	0.15	x	490	=	74		x		=	
1 ليلاً	420	0.15	x	420	=	63		x		=	
2 ليلاً	360	0.15	x	360	=	54		x		=	
3 ليلاً	310	0.15	x	310	=	47		x		=	
4 فجراً	290	0.15	x	290	=	43		x		=	
5 صباحاً	310	0.15	x	310	=	46		x		=	
6 صباحاً	390	0.15	x	390	=	58		x		=	
7 صباحاً	560	0.15	x	560	=	84		x		=	
8 صباحاً	620	0.15	x	620	=	93		x		=	
9 صباحاً	900	0.15	x	900	=	135	0.30	x	900	=	270
10 صباحاً	1040	0.15	x	1040	=	156	0.30	x	1040	=	310
11 صباحاً	1130	0.15	x	1130	=	170	0.30	x	1130	=	340
12 ظهراً	1160	0.15	x	1160	=	174	0.30	x	1160	=	350
1 ظهراً	1120	0.15	x	1120	=	168	0.30	x	1120	=	340
2 ظهراً	1060	0.15	x	1060	=	159	0.30	x	1060	=	320
3 ظهراً	1000	0.15	x	1000	=	150	0.30	x	100	=	300
4 عصراً	950	0.15	x	950	=	143	0.30	x	950	=	290
5 عصراً	910	0.15	x	910	=	136					
6 مساءً	870	0.15	x	870	=	130					
7 مساءً	810	0.15	x	810	=	121					
8 مساءً	760	0.15	x	760	=	114					

9 مساءً	69	0.15	x	69	=	103					
10 مساءً	630	0.15	x	630	=	94					
11 ليلاً	540	0.15	x	540	=	81					
مجموع العينة المركّبة											
	أحجام العينات			Ml 2596				Ml 2520			

6-9 تقييم مياه الصرف

إن أكثر التحاليل المخبرية شيوعاً لتقدير خصائص مياه الصرف هي الـــ BOD والمواد الصلبة المعلّقة. إن BOD وبيانات الانسياب هي الأساس في تصميم وحدات المعالجة البيولوجية. يشير تركيز المواد الصلبة المعلقة بالنسبة إلى BOD إلى أيّ مدى يمكن إزالة المادة العضوية عبر الترسيب. وبين حين وآخر، ينبغي إجراء اختبار شامل للوصول إلى نمط المعلومات المُبيّنَة في الجدول 9-2. إذ يمكن من خلال هذه المعلومات تحديد خصائص مياه الصرف وقابليتها للمعالجة، إضافة إلى ذلك قد يكون من المفيد تسجيل درجة حرارتها، وpH، وCOD، والقلويّة، والأمونيا، والفوسفور، واللون، والدهن، ووجود معادن ثقيلة محدّدة. ويعتمد انتقاء اختبار من بين هذه الاختبارات على مياه الصرف الصناعي، مقدار مساهمتها في نظام المجارير.

إن اختبار الـــ BOD الشامل، كما هو موصوف في الفقرة 10-3 هام لأبعد الحدود، نظراً إلى أنه أشدّ الاختبارات ارتباطاً من سواه، بتشغيل نظام المعالجة. إضافةً إلى ذلك تشير قيمة الأيام الخمسة ومعدل-k ، وكذلك نسب BOD إلى COD، وBOD إلى المواد الصلبة الطيّارة، على القابلية الحيوية للعضويات للتحلل. يُستدلّ عادةً على وجود مواد مثبّطة أو سامّة ناتجة من مياه الصرف الصناعي، من قيم الـــ BOD المرتفعة رغم زيادة التخفيف، ومن حدوث فترات تأخّر عند بدء اختبارات مزروعة بشكل صحيح، ومن تسجيل نتائج غريبة وشاذة للاختبارات

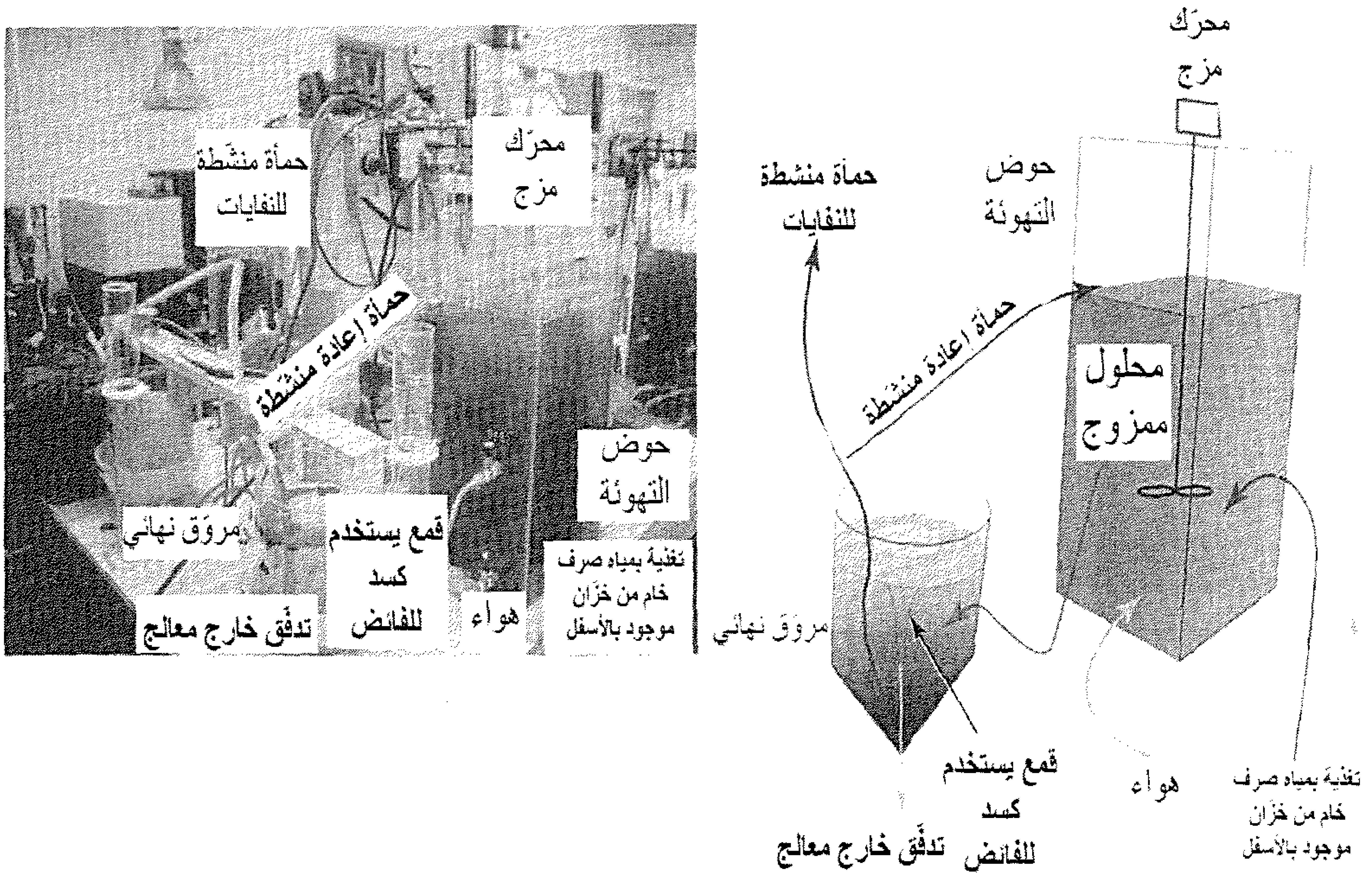
المنفذة. ولكي تغدو الفحوصات المخبرية أعمق مدلولاً وأكثرَ أهمية يجب أن تُربط مع وظائف تشغيل المحطة التي كانت سائدة في أثناء الاعتيان. إن انسياب مياه الصرف، واليوم في الأسبوع، والطقس، والهاطل المطري، والطرح غير المعتاد لمياه الصرف، والناتجة مثلاً من تعطّل مرافق المعالجة الأولية في مصنع رئيس أمور مهمّة للغاية للتفسير المستقبلي لبيانات الاختبارات المسجلة. إضافة إلى ذلك قد يكون من المفيد تسجيل كميات الحمأة الناتجة، وأداء الأدوات، والمواد الكيميائية والطاقة المُستخدمة، ومشاكل التشغيل، ومعلومات عن انسيابات مياه الصرف الصناعي.

وقد تعاني عملية حيوية في معالجة مياه الصرف المدنية مواد غير معروفة تتسبب بتردي الكفاءة من خلال تعطيل النشاط المكروبي، ومثال ذلك ازدياد كمية الحمأة المنشطة في نظام تهوية، فإن كانت المحطة تعمل بشكل مرض تحت الحمولات نفسها في أوقات أخرى، فالمشكلة تتعلق على الأرجح بمياه صرف صناعية يتم طرحها في نظام المجارير. وغالباً ما تشير الفحوص المخبرية لمياه الصرف الصناعي، أو الفحوص الشاملة لمياه الصرف المدنية، إلى العائق المسبب لذلك. لكن إن لم تثبت النتائج ملائمة الاختبارات، يتوجب تبرير دراسة إمكانية المعالجة باستخدام وحدة معالجة حيوية مخبرية صغيرة والسماح بالقيام بها.

إن دراسات إمكانية معالجة مياه الصرف على وجه الخصوص، مناسبة لتقييم الطرح المقترح لمياه الصرف الصناعي للصناعات الجديدة التي تُخطط لاستخدام محطة المدينة للمعالجة. وبالرغم من أن معظم مياه الصرف سهلة الخضوع للمعالجة الحيوية بعد تخفيفها بمياه الصرف المحلية، إلا أنه يتوجب إخضاعها لتحاليل مخبرية قبل السماح بطرحها في مجارير المدينة. وهو إجراء صحيح، وبخاصة إن كان الحجم المخطط له كبير مقارنةً بانسياب الصرف الصحي، أو إن كان نمط مياه الصرف المعني قد سبق له أن تسبّب بمشاكل للمعالجة. وينبغي

الطلب من إدارة المصنع المقترح تجهيز معلومات دقيقة حول كمية انسياب مياه الصرف، تتضمن أنماطاً يوميةً وأسبوعيةً متوقعةً للانسياب، وخصائص مياه الصرف مع تغيّراتها الساعيّة واليومية المتوقعة عن المعيار النموذجي، ومرافق المعالجة المسبقة المقترحة. يظهر الشكل 9-4 جهازاً مخبرياً لدراسة إمكانية المعالجة الهوائية. يتمّ فيه ضخ مياه الصرف من قارورة إمداد مبرّدة إلى حجرة التهوية. يُوزّع الهواء الداخل من الأسفل عبر صخر مساميٍّ. ينساب محلول ممزوج مهوّى عبر أنبوب الاتصال إلى المروّق لتحقيق فصلٍ جاذبيٍّ. والجزء الطافي الصافي هو التدفّق الخارج، بينما تُعاد المواد الصلبة المترسبة إلى أسطوانة التهوية برفعها هوائياً.

يجب أن تكون فترة التهوية وحمولة الـــ BOD مماثلةً لتلك المُستخدمة في نظام المعالجة بالحجم الكامل الذي تتم محاكاته. تُقاس إمكانية معالجة مياه الصرف المطبقة بمفردات مثل كفاءة إزالة الـــ BOD أو الـــ COD، وقابلية ترسيب المحلول الممزوج، والفحص المجهري للكائنات الحية (biota) في الحمأة المنشطة. يجب تشغيل الوحدة بإمداد بكل من مياه الصرف الصناعي المحضة وبمياه صرف صناعي ممزوجة بمياه الصرف المحلية. وعندما تُعالج مياه الصرف الصناعي بمفردها، فإنها قد تحتاج إلى تحييد و/أو إضافة نتروجين لاعضوي وفوسفات لتكافئ وتعادل المغذيات. يجب القيام بمعالجة مشتركة بنسب متعدّدة مختلفة من مياه الصرف الصناعي إلى مياه الصرف المحلي كي تتضمن التخفيف المتوقع في النظام الفعلي للمدينة.



شكل 9-4: جهاز مخبري لدراسات إمكانية المعالجة الهوائية على مياه الصرف الصناعي ومياه الصرف المحلي

المراجع

1. U.S. EPA, *Pretreatment Standards and Limits*, <http:// cfpub.epa. gov/npdes/pretreatment/ptandards.cfm>.

مسائل

1-9 باستخدام قيم الجدول 9-1، احسب انسياب مياه الصرف اليومي وكمية الـ BOD الناتجة من منطقة استجمام لمنتج فاخر يديره 30 موظفاً ويستقبل 200 زائراً باليوم، ويضم مطعماً يقدّم وجبتَي غداء وعشاء. يخدّم المنتجع أيضاً فندقاً صغيراً فيه 20 غرفة، 5 موظفين، وسعة قصوى قدرها 40 شخصاً. يوجد في المنتجع أيضاً 15 منزلاً لعائلة مفردة، و20 شقة للموظفين. احسب عدد الغالونات الأعظمي وعدد باوندات الـ BOD/للفرد/باليوم. احسب الـ BOD في مياه الصرف.

2-9 باستخدام المعلومات المدرجة في الجدول 9-2، احسب كفاءة إزالة المواد الصلبة والـ BOD بعد ترسيب أولي وبعد معالجة حيوية.

3-9 من أجل انسياب قدره 12 mgpd، استخدِم القيم المدرجة في الجدول لحساب باوندات الـ SS، والـ BOD، والنتروجين الكلي، والفوسفور الكلّي في مياه الصرف الخام.

4-9 ما هي الأنماط العامة لتطبيق المعالجة المسبقة، كما حددت من قبل EPA للمرافق المملوكة من قبل الجمهور؟

5-9 باستخدام القيم في الجدول 9-3، احسب باوندات الـ BOD، والـ SS، والنتروجين، والفوسفور في 50,000 gpd من مياه صرف معالجة الحليب. إذا حدد قانون الصرف الـ BOD بـ 500 mg/l، والـ SS بـ 400 mg/l، والنتروجين والفوسفور بـ 35 mg/l 35، هل الطّرح متوافق مع هذه الحدود؟

6-9 باستخدام القيم في الجدول 9-2 وفي الجدول 9-4 ، كم يبلغ عدد السكان المكافئ لمعالجة اللحوم، أيّ كم شخص يلزم لإنتاج مياه صرف مكافئة لمياه صرف معالجة اللحوم المدرجة في الجدول 9-4؟

7-9 يُخطط لتجمّع سكني مكوّن من 500 منزل على قطعة أرض مساحتها $\frac{1}{4}$ دونم بمتوسط خمسة أشخاص بالمنزل. باستخدام قيم متوسط الرشح، ما هو تقدير انسياب الرشح للداخل؟ باستخدام 100 gpcd، ما هي النسبة المئوية للرشح إلى انسياب مياه الصرف، وكيف تبدو مقارنتها بالنسب المئوية النموذجية؟

8-9 قطعة أرض مساحتها 3.4 دونم، وذات أنابيب مجارير مكوّنة من 1200 ft بقطر .8 in، و800 ft بقطر .10 in، و430 ft بقطر .16 in. احسب الرشح الأعظمي استناداً إلى عدد الدونمات وطول الأنابيب. باستخدام مواقع قدرها 1/3 دونم، بوجود 4 أشخاص في المسكن، باستهلاك 120 gpcd، احسب متوسط الانسياب. احسب متوسط انسياب الطقس الجاف، وانسياب الطقس الرطب.

9-9 يبلغ متوسط الانسياب اليومي لعدد سكان يبلغ 125000، مقدار 80 gpcd، ما هو عامل تصاعد الانسياب وانسياب الذروة؟

10-9 حدد حجم محطة ضخ وفقاً لانسياب الذروة الساعي في طقس رطب. من أجل عدد سكان يبلغ 35000، يستهلكون 100 gpcd على مساحة 78000 دونم، احسب متوسط انسياب الطقس الجاف، وانسيابَ الذروة في الطقس الجاف، والرشح الأعظمي، والرشح للداخل الأعظمي. فإذا كانت محطة الضخ ذات خمس مضخات، واحدة منها خارج الخدمة، ما هو حجم كل مضخة مقدراً بـــ gpm؟ (ملاحظة: احسب انسياب مياه صرف الذروة من المتوسط متضمناً انسياب مياه العواصف).

11-9 موقف سيارات صناعي ذو 75% مياه صرف صناعي يحوي 850 mg/l من الـــ BOD، و30 mg/l نتروجين، ولا يحوي فوسفور. تساهم مرافق المراحيض بـــ 25% من الانسياب الحاوي على مياه صرف ذات قوة مياه صرف عادية. احسب نسبة BOD/N/P لمياه الصرف. هل تحوي مياه الصرف مغذيات مناسبة؟

12-9 ما هي نسبة BOD/N/P لمياه صرف المنسوجات الاصطناعية المُدرجة في جدول 9-3؟ هل يمكن لمياه الصرف هذه بمفرها أن تُعالج حيوياً؟ إذا أُضيف ما مقداره 1/3 كميتها من مياه الصرف الخام، كم ستكون النسبة، وهل يُمكِن معالجتها؟

13-9 أُدرجت في الجدول 9-4 قيم الانسياب والـــ BOD والمواد الصلبة المعلقة لمياه صرف ناتجة من معالجة رقائق البطاطا، والحليب، والمرطبات. يبلغ عدد السكان المُخدّمين بالمجارير 12500، ما هو مقدار BOD وكم يبلغ تركيز SS الناتجة في محطة المعالجة؟ وما هو عدد السكان المكافئ لمياه الصرف الصناعي؟

14-9 أُخذت قراءات وعينات، مدرجة في الجدول الآتي، من مياه صرف داخلة إلى محطة معالجة. ما هو الانسياب الأدنى وانسياب الذروة ومتوسط الانسياب؟ جَدوِل أجزاء عينة مركَّبة أُخذت على مدى 24 hr وبلغ حجمها 3000 ml، مقابل اختبار BOD؟

Q (mgd)	الزمن	Q (mgd)	الزمن	Q (mgd)	الزمن
10.2	2400	16	1600	17.5	800
7.3	100	16	1700	21.8	900
5.8	200	16.7	1800	24.7	1000
5.5	300	17.5	1900	26.9	1100
5.5	400	16.7	2000	25.5	1200
5.8	500	16	2100	23.3	1300
7.3	600	14.6	2200	20.4	1400
11.6	700	13.1	2300	17.5	1500

15-9 ضع نسقاً لجدولة بيانات الانسياب الآتية يهدف إلى حساب أجزاء العينات العشوائية لدمجها في عينة مركَّبة، على غرار الجدول 9-5. الكمية النهائية المطلوبة 2500 ml .

Q (mgd)	الزمن
0.97	600
2.91	900
3.4	1200
2.33	1500
2.23	1800
2.14	2100
1.55	2400
0.74	300

16-9 صف متطلبات اختبار BOD شامل لمياه الصرف الصناعي.

الفصل 10

أنظمة تجميع مياه الصرف

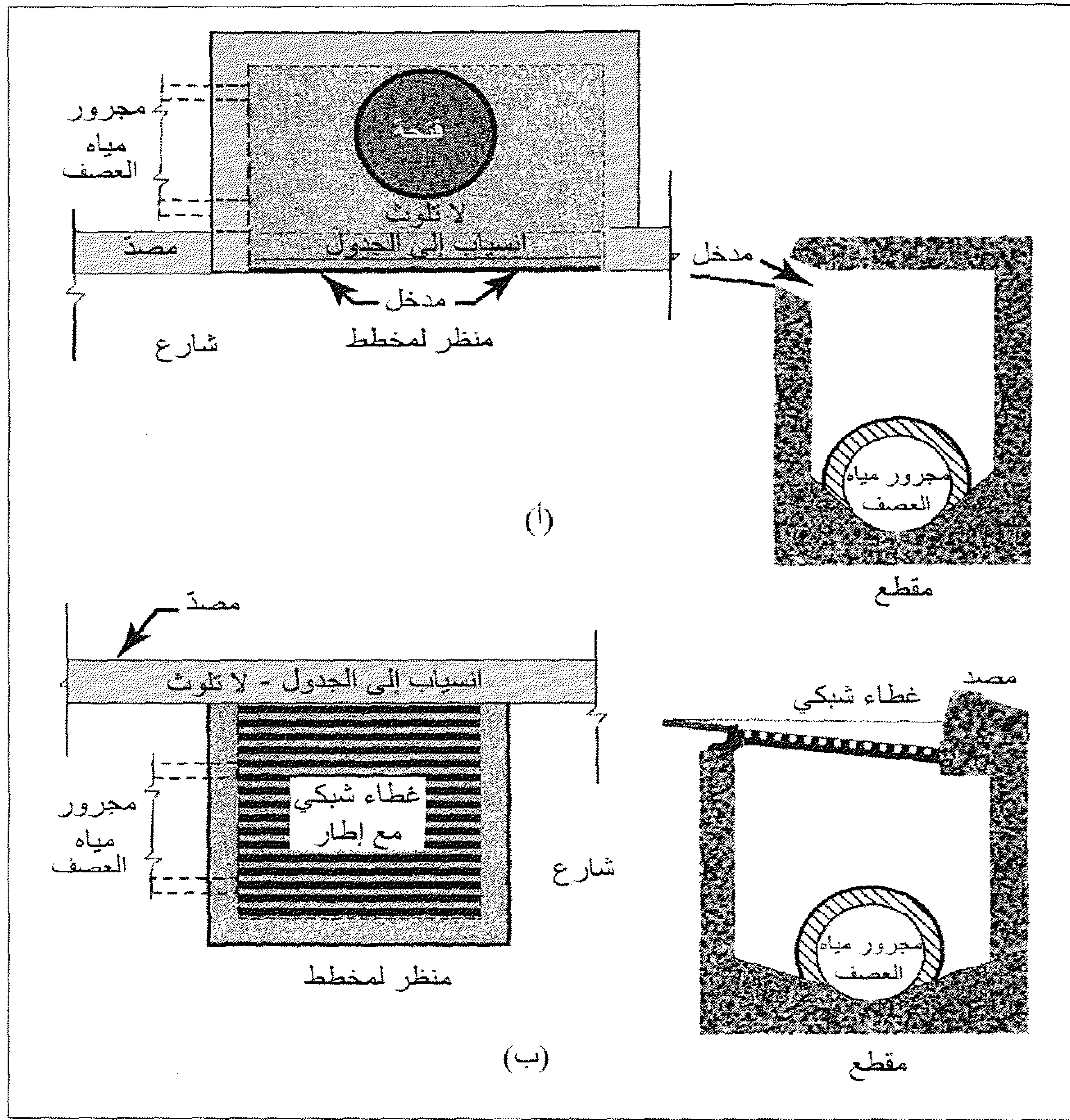
المجاري أقنية تحت أرضية لنقل مياه الصرف عبر جريانها تحت تأثير الثقالة الأرضية من مناطق المدن إلى نقاط طرحِها. لقد هدفت أقدم أنظمة الصرف، والتي أُنشئت في مدن القرن السادس عشر والسابع عشر، إلى نقل جريان مياه العواصف من مناطق العمران بهدف حمايتها من الغمر بالماء. لقد استُخدِمت المراحيض والحفر الصحية للتخلص من الفضلات البشرية، أما النفايات المنزلية فغالباً ما كانت تُرمى في الشوارع. وبالرغم من أن ذلك قد خلق ظروفاً صحية بائسة تدعو إلى الأسى، فإن مدناً مثل لندن وفيلادلفيا قد حرّمت طرح الفضلات المنزلية في مصارف مياه العواصف لوقت طويل امتد حتى عام 1850. لقد أدى تطور المضخات التي تُدار بالبخار وأنابيب الحديد المسبوك المخصصة لتوزيع المياه المضغوطة، إلى مد أنابيب المياه إلى البيوت وتوفرّ مراحيض ضمنها يتمّ شطف فضلاتِها. وسُرعان ما مُنعت الحُفر الصحية وبدأ نقل الفضلات المحمولة بالماء، عبر الأنابيب إلى مصارف مياه العواصف، محوّلةً إياها إلى مجار مشتركة. وبالرغم من أن نظام الحمل المائي هذا قد حسّن من الظروف ضمن المدن، إلا أن الفضلات غير المعالجة باتت تتجه تجاه الممرات المائية السطحية.

لقد أُنشئت المجاري المشتركة في كثير من مدن الولايات المتحدة قبل عام 1900، وذلك بدون ملاحظة ضرورة فصل ومعالجة مياه الصرف المنزلي ومياه الصرف الصناعي. وبالرغم من أن هذه الأنظمة ما زالت موجودة في البلديات القديمة، غير أن المجاري المنفصلة باتت شائعةً خلال القرن العشرين. ففي حين

تنقل مجاري مياه العواصف مياه الجريان السطحي فقط إضافة إلى مياه أخرى غير ملوثة مباشرةً إلى الممرات المائية الطبيعية، تنقل المجاري الصحية مياه الصرف المنزلي والصناعي إلى منشآت المعالجة، حيث تخضع لعمليات متعاقبة قبل طرحها. وحيثما وُجدت أنابيب صرف مشترَكة، فإنه يتم إنشاء مجار عرضية لجمع ما يسمى تيار الحالة الجافة عبر عدد من المصارف العرضية، لنقلها من ثم إلى محطات المعالجة. أما تيار الحالة الرطبة الغزير المتشكِّل في محطات المعالجة، فيبقى متجهاً مباشرةً في معظم الحالات نحو مصارف الطرح.

1-10 نظام مجاري العصف

تدخل المياه السطحية إلى نظام صرف مياه العصف، عبر مداخل متموضعة في ميازيب الشوارع أو في الأماكن المنخفضة التي تجمّع مياه الصرف الطبيعي. يتم ضخ مياه التبريد المُستخدمة في الصناعة وتلك المتسربة إلى المصارف الأساسية من المياه الجوفية إلى مجاري مياه العصف، نظراً إلى أن الأنابيب تكون عادةً ضحلة، بحيث لا يمكن للمياه من أن تجري فيها بتأثير الثقالة الأرضية. فضلاً عن ذلك، فإن الوصلات المباشرة ستخضع لجريان عكسيٍّ إذا ما حُمِّل الأنبوب فوق طاقته. يظهر الشكل 10-1 نمطين شائعين لمداخل مياه العواصف في الشوارع. حيث يكون لنمط "مدخل مصدّ الصرف"، شقّ شاقولي يقوم بجمع جريان الميزاب. وبالرغم من أن هذا المدخل قد يكون منخفضاً قليلاً عند مقدمته، إلا أنه لا يشكل أيّ إعاقة لحركة الجريان. أما نمط "مدخل الميزاب" فهو عبارة عن فتحة مُغطاة بغطاء شبكيٍّ فولاذيٍّ تنحدر مياه الصرف من خلاله. وتكمن سيئة هذا النظام في احتمال تسبب الأوساخ المتجمّعة على الغطاء الشبكي بانسداد مدخل الميزاب. إن مداخل مشتركةً مكوّنة من كل من "مصدات الصرف" و"فتحات الميزاب" شائعة أيضاً. يحدّد ميل الطريق وتصميم المصدّ وانخفاض الميزاب، النمط الأمثل لمدخل المياه المُنتَقى. وغالباً ما يكون لتخفيف التأثير في حركة السير وتجنب انسداد المداخل، الأفضلية على الكفاءة الهيدروليكية في انتقاء نمط مدخل الماء.



شكل 10-1: مداخل مياه العصف لمصرف الشارع. (أ) "مدخل مصدّ الصرف" تنساب المياه تحت المصدّ إلى بنية تلقي الصرف الساقط لمياه العصف (ب) يسمح "مدخل الميزاب" للمياه بالدخول عبر غطاء شبكي على جانب الطريق

تصل أنابيب قصيرة أحواضَ تجميع المياه الموجودة تحت مداخل المياه في الشوارع، بالمجرى الرئيس لمياه العصف والذي يكون عادةً على الطرف الأيمن للشارع. يتم تجهيز منافذ عند "مداخل المصدّات"، وذلك إما عند تقاطع أنابيب المجاري أو بتباعد منتَظم، الأمر الذي يمكّن من الكشف عليها وتنظيفها. يتفق ميل خطوط الأنابيب مع الميل العام لسطح الأرض بحيث تدخل المياه المنسابة إلى أسفل المنحدر الى نقطة تصريف مناسبة. يتم مد أنابيب المجاري بأضحلِ ما يمكن بهدف تقليل عمليات الحفر ما أمكن، وتقوم ردميات ثخانتها ft 4-2 فوق خط الأنابيب بتخفيف تأثير حمولات إطارات السيارات. تُزوّد مخارج المجاري التي تصبُّ في ممرات مائية

طبيعية، تتأثر عادةً بالمدّ أو بمناسيب مياه مرتفعة، ببوابات قلابة تمنع طغيان المياه ورجوعها إلى نظام المجاري. كما تُستخدم بوابات منع رجوع المياه عند مخارج المجاري المشتركة وأنابيب تدفق المياه الخارجة من محطات المعالجة أنّى تطلب الأمر.

تُستخدم طريقة المحاصصة الموصوفة في الجزء 4-11 لحساب كمية الجريان السطحي الذي سيشغل مجاري مياه العصف. ويتم أخذ الظروف المناخية بالحسبان، وذلك باستخدام معادلات أو منحنيات شدة الهطول المطري المحلي إلى مدّته. وفي المناطق الجافة يتم مد خطوط مجاري في المناطق التي تتمتع بقيم مرتفعة لهذه المعايير فقط، بحيث تقوم الشوارع والمسيلات على جوانب الطرق في المناطق ضعيفة الكثافة السكانية بصرف الهاطل المطري. بينما في الأقاليم ذات مناخ العواصف الرعدية، فقد وُجِد أن القنوات المكشوفة المبطنة أكثر اقتصادية من القنوات الضخمة المطمورة، حيث تصبّ المجاري القادمة من مناطق تصريف صغيرة، جريانَها في خنادق عشبية أو مكسوّة بالبيتون وتصرّف هذه الأخيرة صبيبها في الممرات المائية السطحية الرئيسة.

تتراوح سرعات الجريان المُستخدمة في تصميم مجاري مياه العصف من قيمة صغرى تبلغ 3 ft/sec (0.9 m/s) إلى قيمة عظمى تبلغ 10 ft/sec (3 m/s). ويتم انتقاء الحدّ الأصغري بحيث تتمكن الأنابيب من تنظيف نفسها ذاتياً وتفادي ترسب المواد الصلبة، بينما يُنتَقى الحدّ الأعظميّ بحيث لا يتسبّب بحتّ الأنبوب عبر الحطام المنقول في المياه.

إن الاختلاف الأساسي في مقاربة تصميم مجاري الصرف الصحي ومجاري مياه العصف، يكمن في الافتراض بأن صبيب مجاري مياه العواصف يزداد أو يفيض دورياً. فعلى سبيل المثال فإن تصريف عاصفة محسوباً على أساس هطولٍ متريٍّ بفترة تكرار قدرها 10 سنوات، يُفترض به أن يتجاوز استطاعة المجرى. أما مجاري الصرف الصحي فتُصمّم وتُنفّذ بحيث تمنع فيضانها. وفي حال حدوث ذلك فغالباً ما يُعزى الأمر إلى رشح زائد من المياه الجوفية من خلال فجوات وثقوب في وصلات الأنابيب أو إلى وجود وصلات صرف غير مرخّصة. إضافة إلى ذلك، هناك اختلاف ثان ما بين مجاري

الصرف الصحي ومجاري مياه العصف سهل الملاحظة والتمييز، يتمثّل في حجوم الأنابيب اللازمة لخدمة منطقة محددة. وكما يُظهر المثال 10-1 فإن أقطار مصارف مياه العواصف أكبر بعدّة أمثال أقطار أنابيب جمع مياه الصرف المنزلية المحلية، لذا فإن كميةً قليلةً من مياه المطر الراشحة كافية للتسبب بفيضان مجاريها.

تستخدم عادةً أنابيب خرسانة (كونكريتيّة) حلقية كمجار لمياه العصف. كما تتوفر أنابيب كونكريتيّة غير مسلحة ذات أقطار تصل حتى 24 in. وأطوال تصل إلى 3 ft أو 4 ft، وأخرى مسلّحة بفولاذ مُحتَضَن ضمن الكونكريت لإكسابه قوة بنائية إضافية. تصنع الأنابيب الحلقيّة بأقطار تتراوح ما بين 12 in. إلى 144 in. وبأطوال تتراوح ما بين 4 in. إلى 12 in.. كما تُصنّع أنابيب إهليلجيّة المقطع مقوّسة النمط لاستخدامات خاصة. كما تتوفر أنماط مختلفة من الوصلات لربط أجزاء الأنابيب. ويتم انتقاء النمط المناسب منها تبعاً لظروف البناء، وحجم الأنبوب المُستخدم، ومقاييس الجهة الصانعة، وتسليح الأنبوب من عدمه. وتُستخدم بشكل شائع وصلات حلقيّة مطاطيّة فردية لربط خطوط المجاري الكونكريتيّة نظراً إلى اقتصاديتها وسهولة تركيبها ولأدائها المُرضي. ويتم صب نهايات الأنابيب في أثناء تصنيعها بحرص يسمح بترك فراغ مناسب ليستوعب حلقةً مطّاطية، بحيث يتم وضع السدّادة في مكانها على نهاية الأنبوب وتُشحّم ثم تُدفع في النهاية المتسعة للأنبوب التالي.

مثال 10-1

أ) ما عدد السكان الأعظمي الذي يمكن أن يخدمه مجرور صحي قطره 8 in. تمّ مدّه بتدرجٍ أصغري باستخدام تصميم جريان قدره 400 gpcd وسرعة جريان تامة قدرها 2 ft/sec؟

ب) احسب قطر مصرف مياه عصف الذي يخدم نفس عدد السكان باستخدام كثافة سكانيّة قدرها 30 فرد في الدونم، ومعامل جريان سطحي قدره 0.40 وتواتر هاطل مطري قدره 10 سنوات. (شكل 30-4)، وزمن تركيز قدره 20 min، وسرعة جريان قدرها 5.0 ft/sec.

الحل

أ) استناداً إلى الجدول 10-1 فإن جرياناً تاماً بسرعة 2 ft/sec في مجرور قطره .in 8 سيبلغ 310 gpm (0.7 cu ft/sec). ويكون عدد السكان الأعظمي الذي يمكن أن يخدمه المجرور

$$\frac{310\,\text{gpm} \times 1440\,\text{min/day}}{400\,\text{gal/day}} = 1100 \text{ شخص}$$

جدول 10-1: الانحدارات (slopes) الأصغرية لمجارير مختلفة الأبعاد بسرعة جريان تام قدرها 2 ft/sec والتصريف المقابل له(*)

تصريف جريان تام (gpm)	تصريف جريان تام (cu ft/sec)	الانحدار الأصغري (ft/100ft)	قطر المجرور (.in)
310	0.7	0.33	8
490	1.1	0.25	10
700	1.6	0.19	12
1080	2.4	0.14	15
1570	3.5	0.11	18
2160	4.8	0.092	21
2820	6.3	0.077	24
3570	8	0.066	27
4410	9.8	0.057	30
6330	14.1	0.045	36

(*) اعتماداً على معادلةماننغ (Manning's Formula) n= 0.013

ب) مساحة الصرف $= \frac{1100 \text{ شخص}}{30 \text{ شخص بالدونم}} = 36$ دونم

من الشكل 4-30 ، يظهر أن زمن التركيز = 20 min، I = 4.2 in/hr، وباستخدام المعادلة 4-24 فإن $Q = 0.40 \times 4.2 \times 36 = 60\ ft^3/sec$

واستناداً إلى أن VA= Q ومن أجل Q =60 cu ft/sec، فإن V = 5 ft/sec، وقطر الأنبوب هو 42 in. . وبذلك، فإن الأمر يتطلب مصرفاً لمياه العصف لتصريف منطقة سكنية ذات عدد سكان يبلغ 1100 شخص بمجرور صرف صحي قطره 8 in..

لقد صُمّمت برامج إدارة مياه العواصف للحدّ من دخول الملوّثات إلى الممرات المائية المحلية. تشمل هذه الملوّثات الرسوبات، والفضلات، والمعادن، والمواد العضوية، والمبيدات الحشرية، والمواد المغذّية، والزيوت والشحوم. وما لم تتم إزالة أيّ انسكابات بالتنظيف، فيمكنها الجريان سطحياً مع مياه العواصف. تتضمّن الأنشطة الخاصة ومناطق الاهتمام ساحات الصيانة، ومواقف الآليات، ومناطق الإمداد بالوقود، والتخزين في الأماكن المفتوحة، ومنشآت التحميل. وقد يتسبّب التطور السكاني بدخول أسمدة ومبيدات حشرية وكميّات صغيرة من الملوّثات. إن ضبط مصادر التلوّث أمر حاسم في الحدّ من تلوّث مياه العواصف. وبالتالي ينبغي أن تُصمّم منشآت الأماكن المفتوحة بحيث تتمكن من احتواء الانسكابات واستبعاد مناطق انجراف التربة، إضافة إلى ذلك ينبغي أن تُضبط معدّلات استخدام مياه الري، والأسمدة والمبيدات الحشرية للحد من تأثيرها على الجريان السطحي.

تتضمن إجراءات ضبط مصادر التلوّث الكنس والتنظيف، وضبط النفايات والانجراف، والتحكّم بالانسكابات والتسربات والفيضانات، وفرض القيود على استخدام المواد الكيمائية ومراقبة الطّرح غير القانوني للنفايات. وعموماً يندرج ضبط مصادر التلوّث تحت باب الإدارة الجيدة للخدمات ومعدلات الاستخدام.

تُستخدم برك احتجاز مياه العواصف لتخفيف معدّلات جريان مياهها ولتوفير خزّان هادئ من أجل إزالة الملوّثات حيث تترسب المواد الأثقل إلى الأسفل لتندمج بالتالي مع قاع البرك، بينما تتراكم الأوساخ التي يجب أن تُجمّع وتُزال. تخضع المواد العضوية والمبيدات الحشرية والمغذيات والزيوت والشحوم لقدر من المعالجة ضمن البيئة البيولوجية التي نمت في البركة وذلك نتيجة الرشح والتحلل ضمن قاع التربة.

إن سمات تصميم نقطة احتجاز مياه العواصف مهمة، وذلك لتخفيف التلوّث ولتحسين أداء البرك. تُمكّن زيادة مساحة منطقة الترسيب المواد الصلبة الأثقل من الترسب فيها قبل وصولها إلى بركة المياه الدائمة، والتي تترسب فيها المواد الصلبة الأخف. توفرّ الحواف الضحلة للبرك الدائمة موطناً مناسباً للنباتات المائية إضافة إلى تشكيلها أراض رطبة. تقوم النباتات المائية بامتصاص المواد المغذية بيولوجياً وتوفر بدورها موطناً لعضويات أخرى. تسمح النفوذية المُتحكّم بها بإعادة تغذية المياه الجوفية مع الحفاظ على البركة الدائمة.

2-10 نظام المجاري الصحية

تنقل المجاري الصحية مياه الصرف المنزلية والصناعية عبر الجريان بتأثير الثقالة الأرضية إلى منشآت المعالجة. ويقوم مجرور جانبي بجمع تصريف المنازل لينقله إلى مجرور فرعي آخر بلا أيّ خط مجاري رافد. تستقبل خطوط المجارير الفرعية أو ما دون الرئيسة مياه الصرف من المجارير الفرعية لتنقلها إلى مجارير رئيسة كبيرة. يُسمّى المجرور الرئيس "حلقة اتصال" أو"مجرور الصبيب"، ويقوم بنقل التصريف من مناطق واسعة إلى محطات المعالجة. أما "المجرور القسري" فهو مجرور يتمّ عبره ضخ مياه الصرف بتطبيق ضغط مناسب، لا عن طريق الجريان بتأثير الثقالة.

يستند تصميم الجريان لأنظمة المجاري إلى عدد السكان المُخدَّمين باستخدام الكميات الآتية لكل نسمة:

المجارير الجانبية وما دون الرئيسة: 400 gpcd (1500 l/person . d).

المجارير الرئيسة وحلقات الاتصال: 250 gpcd (950 l/person . d).

المجارير العرضيّة: 350% جريان تحت ظروف طقس جاف لمتوسط القيم المُقدَّرة.

تتضمّن هذه الأرقام قيم الرشح العادي بافتراض قيم سعة جريان تام، مع استبعاد قيم الصرف الصناعي والرشح الفائض. وينبغي أن تكون ميول المجارير

كافية للمحافظة على سرعات تطهير ذاتي، والتي تكون قيمها عادةً 2 ft/sec (0.6 m/s) لدى الجريان التام. يظهر الجدول 10-1 قوائم بأحجام المجاري والميل الأصغري لسرعة 2 ft/sec وكمية الجريان المقابلة لها. ويمكن السماح بميول تقلّ عن تلك المجدولة في خطوط الصرف، يؤمّن فيها معدّل جريان التصميم توفير عمق جريان يتجاوز ثلث قطر الأنبوب. وعند تجاوز السرعات 10 ft/sec (3 m/s) فإنّه ينبغي تطبيق تدابير احتياطية خاصة لحماية الأنبوب ومنافذ الصرف من الإزاحات الناجمة عن الحتّ والحمولات الهيدروليكية التراكمية.

يتم مدّ المجارير الصحية على عمق كاف بحيث يتم تفادي التجمّد ولتَلقّي مياه الصرف من الأحواض. وكقاعدة عامة يتم مد المجارير الجانبية على الجانب الأيمن للشارع وعلى عمق لا يقل عن 11 ft (3.3 m) تحت قمة أساسات المنازل. ولتأمين وصول مريح واقتصاديٍّ إلى المجرور بعد إنشاء الشارع، فإنه يتم عادةً مد وصلات تخديم من المجارير الجانبية إلى ما وراء الأفاريز الحجرية على جوانب الطريق وذلك في أثناء مدّ المجارير. وكبديل عن ذلك يمكن مد المجارير الصحية خلف الإفريز الحجري على أحد جانبي الطريق وجعلها ممكنة الوصول عبر وصلات التخديم على هذا الجانب من الطريق. وفي حال سمحت ظروف التربة فإنه يمكن إنجاز وصلات الأنبوب من على جانبي الطريق وذلك عبر حفر حفرات أشغال على جانبيه، ومن ثم رفع منسوب مجرور المنزل ليتسنى وصلَه مع المجرور الجانبي على الطرف المقابل من الطريق. وفي أثناء الرفع يتمّ دفع مقطع الأنبوب تحت الطريق بواسطة روافع هيدروليكية. أما في الترب القاسية فتُستخدم آلات حفر لحفر فتحة يتمّ إقحام خط الأنابيب فيها. يقوم رأس حفر مثبت أمام مقطع أول أنبوب بعملية الحفر، ثم يقوم بعدها حفار يدويّ باستخراج مواد الحفر إلى خارج الأنبوب وجمعها في حفرة الرفع.

تتحكم سهولة الصيانة بالكثير من معايير تصميم أنظمة جمع مياه الصرف. ويبلغ القطر الأصغري الموصى به للمجارير الجانبية 8 in. (200 mm). وتسمح المنافذ الموجودة على مسافات منتظمة بالوصول إلى الأنبوب لفحصِه ولتنظيفه. وتتطلب

الأنابيب الممدّدة على مستوى أفقيٍّ تماماً، شطفاً وتنظيفاً دورياً لإزالة المواد الصلبة المترسّبة ومنع انسداد الأنبوب. وينبغي مدّ المجارير التي تقلّ أقطارها عن 24 in. بموازاة خط مستقيم يصل ما بين المنافذ. وبالرغم من أن الأكواع قد سمحت في السنوات الأخيرة بالتلاؤم مع انحناءات الشوارع، فإن درجة الانحناء تتحدّد بطول قطع الأنابيب ومرونة القطع المفصلية. ويمكن تنظيف الأنابيب المنحنية بواسطة انسياب نفاثٌ عالي الضغط وبدون الإضرار بالجزء الداخلي للأنبوب. تُستخدم محطات الضخ في نظام الجمع، فقط في الحالات التي يغدو فيها الانسياب المستمرّ بواسطة الثقالة غير عمليٍّ، وذلك نتيجة كلفتها العالية ومشاكل صيانتها المستترة.

مخطط المجارير ومقطعها الجانبي

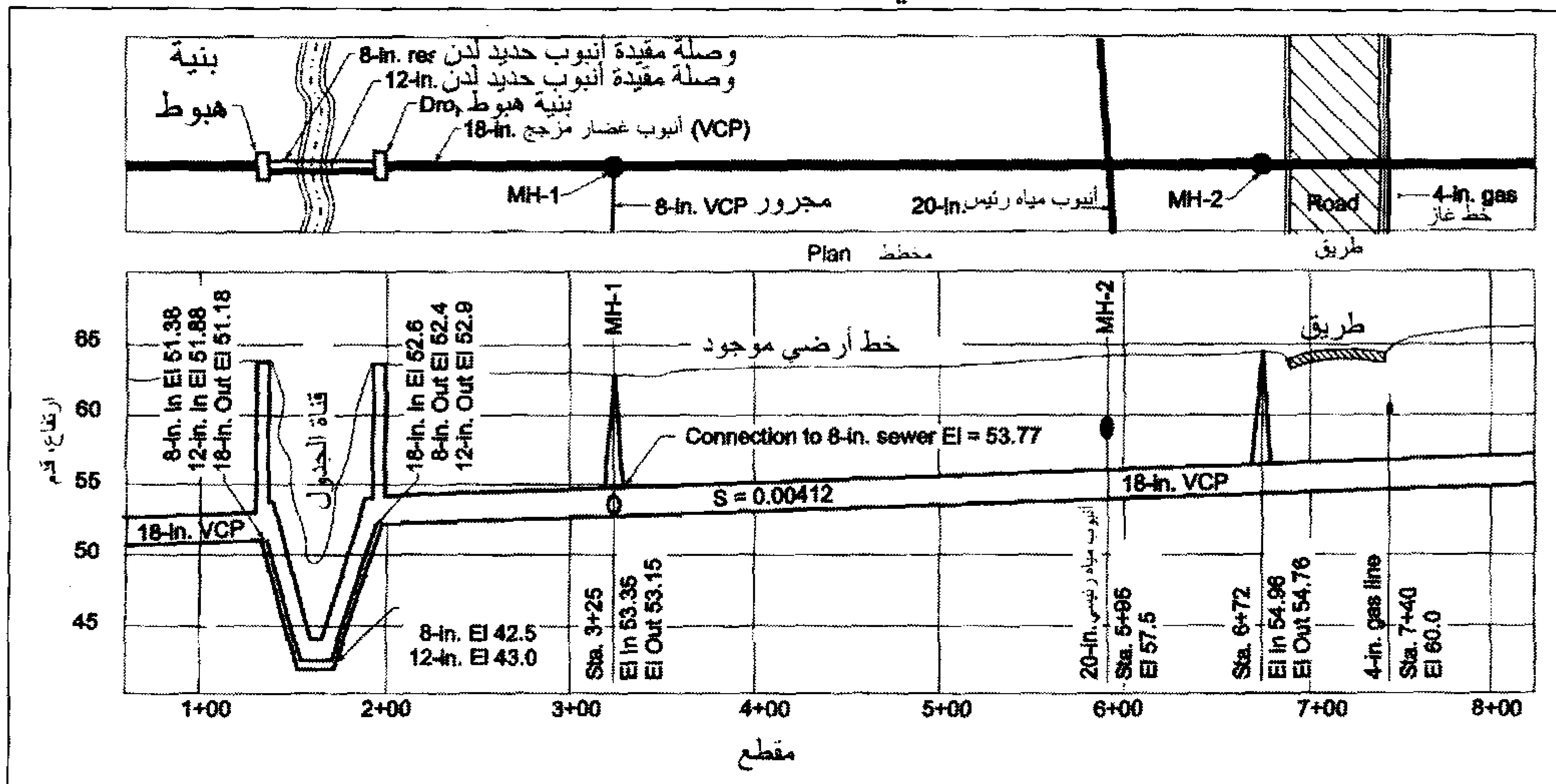
يظهر الشكل 10-2 مخططاً ومقطعاً مفتوحاً لمجرور صحيٍّ. ويُرسم المسقط الأفقي للمخطّط عادةً بحيث يعلو البروفيل. ويتم غالباً تضمين صورة جوية أو مخطط مسح طبوغرافيٍّ كخلفية لمخطط المجارير. يظهر المسقط الأفقي القسمات الأرضية كالجداول والطرقات إضافة إلى مسارات الأنابيب تحت الأرض. ويتم رسمه بمقياس شاقوليٍّ مضخّم بعشر مرات عن نظيره الأفقي بحيث تظهر الارتفاعات والتباعدات الشاقولية جليّةً واضحةً. وتُظهر المخططات سطحَ الأرض، وخط المجارير مع مقدار ميله وقطره، والمنافذ، والمجاري الواصلة، وكافة الاستخدامات تحت السطحيّة، ومقدار الارتفاع لدى مدخل الأنبوب أو لدى النقاط الحرجة، والقسمات الخاصة كالسيفونات المعكوسة.

وعند إنشاء خطوط مجاري جديدة وخطوط مياه رئيسة جديدة لجرّ المياه، ينبغي ضمان توفر تباعدات مناسبة تمنع أيّ تسرب ممكن من المياه الملوّثة من المجرور إلى خطوط مياه الشرب. وتفرض مديريات الصحة في معظم الولايات حداً أدنى للتباعد الأفقي بينهما قدره 10 ft (3 m) وحداً أدنى للفاصل الشاقولي قدره 18 in. (3 cm). وعند تعذّر المحافظة على هذه التباعدات أو عند ضرورة عبور خط مياه الشرب تحت المجرور، فإنّه يجب الاتصال بمديرية الصحة لاقتراح وتقدير طرق إنشائية بديلة. وقد تتضمن المتطلبات الالتزام بمواقع محدّدة لوصل

المجارير بعضها ببعض، وإكساء المجارير من الداخل، وفرض قيود على أنماط المواد المُستخدمة في المجارير ونمط الوصلات في ما بينها لمنع أيّ تسربات في منطقة خط الإمداد بمياه الشرب.

السيفونات المعكوسة

السيفون هو مجرور منخفض يقع تحت التدرّج الهيدروليكي وذلك لتجاوز معوّق ما من قبيل وجود جدول، وتقاطع سكك حديد أو أوتوستراد منخفض. يتضمن التصميم تدابير احتياطيةً للقيام بالصيانة وتنفيذ الأعمال بسهولة، وحدّاً أدنى لانخفاض قيمة الضاغط الهيدروليكي.



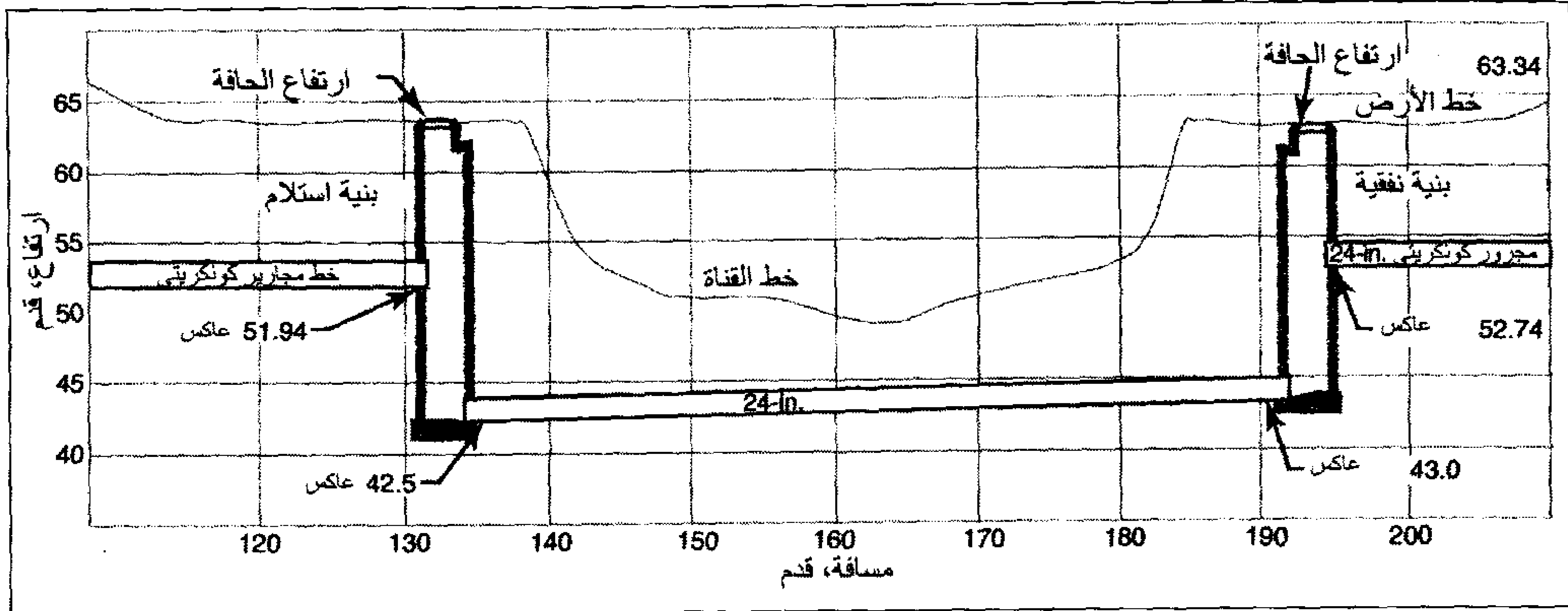
شكل 10-2: مخطط ومقطع مفتوح لمجرور يظهر القسمات الأرضية، الأنابيب المطمورة وتفاصيل تصميم المجرور. وقد تمّ الانتقال عبر جدول متقاطع باستخدام سيفون مكوّن من أنبوبين من قطرين مختلفين للحدّ من الترسب في السيفون. يظهر المقطع الجانبي مجروراً يحب إنشاؤه على ميل ثابت قدره 0.00412، وذي ارتفاعين مختلفين عند مدخل ومخرج كل بنية إنشائية

وحيث إن المجرور المنخفض يعمل كمصيدة، لذا ينبغي أن تكون سرعة الانسياب ضمن الأنابيب أكبر من 3 ft/sec (0.9 m/s)، وذلك لمنع ترسّب المواد الصلبة. ويتم تحقيق ذلك عبر تركيب صندوق دخول موزّع يقوم بتوجيه الانسياب تجاه أنبوبين سيفونين أو أكثر موضوعين على التوازي. فعلى سبيل المثال يظهر الشكل 10-2 انسياباً في مجرور قطره 18 in. عبر أنبوبين منخفضين. وخلال

انسياب ضعيف في المجرور الرئيس، تتجه كل مياه الصرف نحو الأنبوب ذي القطر .8 in. وعندما يتجاوز عمق الانسياب في المجرور الرئيس .6 in، فإن تيار مياه الصرف سيتوزّع في صندوق الدخول إلى تيارين يتجهان نحو كلٍّ من الأنبوبين السيفونيين، بينما يكون المجرور الرئيس نصف ممتلئ، وتكون السرعة في كليهما أكبر من 3 ft/sec. ويكون لبنيتي الدخول والخروج، إضافةً إلى دوريهما في ضبط الجريان، دور تأمين منفذ لتنظيف خطوط المجارير.

فإن لم يسمح وجود ممرٍّ مائيٍّ أو سكة حديد أو أيّ بنية أخرى، من فتح خندق ومدّ أنبوب فيه اعتباراً من سطح الأرض فإنّه يمكن استخدام تقنيات لا تتطلّب حفر خندق، إذ إنه يُمكن مد مجرور من النمط الموضّح في الشكل 10-3 باستخدام الحفر بالحفار الأفقي أو بطرق حفر أنفاق ميكروية. وتبدأ كلتا الطريقتين بإنجاز حفرتين، الأولى للحفر والثانية للالتقاء. ويستخدم الحفر الأفقي آلةً حفارة تقوم بتثبيت الحفّار ضمن الأنبوب الحامل (انظر الشكل 10-4أ). وعندما يضغط الإطار على التربة يقوم الحفّار الذي يدور بسرعة بإزالة التربة وتفريغ التجويف. ويقوم الإطار بتثبيت التربة في أثناء استمرار الحفّار بالتقدم. وتقوم الآلة الحفّارة بممارسة ضغط أفقيٍّ على حامل الأنبوب بشكل متزامن مع دوران الحفّار. وعندما يتصل الحفّار بحفرة الالتقاء يتم إبعاد الحفّار وتركيب الأنبوب على زلاقة مع سد نهاياته بإحكام بواسطة البيتون المسلح. ويمكن لآلات الحفر بواسطة الحفّار أن تقوم بتركيب أنابيب تتراوح أقطارها ما بين .8 in إلى .60 in (200 mm إلى 1500 mm). ولآلات حفر الأنفاق الميكرويّة واجهات قطعٍ مختلفة الأنماط ذات تحكّم كمبيوتري بحيث يمكن توجيه الأنبوب عن بعد عبر النفق (انظر الشكل 10–4 ب). وتُستخدم آلات حفر أصغر لتركيب أنابيب تتراوح أقطارها ما بين .10 in – .28 in (250 mm إلى 700 mm)، ومع إزالة التربة بالسطح القاطع، فإنّه يتم زحنُها ومزجُها بسائل طيني القوام (عادةً بنتونايت مع ماء) ينقل نواتج الحفر ويضخها عبر الأنبوب ويخفف من قوة الاحتكاك الممارس على الأنبوب خلف آلة الحفر. يُنقل هذا السائل إلى مركز الآلة بواسطة عمود الدوران فيها والذي يكون مجوّفاً عادةً. ويُدفع الأنبوبُ من ثم للخُلف

كي يَشغل الفراغ الذي خلّفته آلة الحفر. ويستخدم الكثير من آلات الحفر نظامَ قياس ليزريٍّ لتحديد اتجاه تقدم الحفر والإبلاغ عن الموقع الذي وصلت إليه.



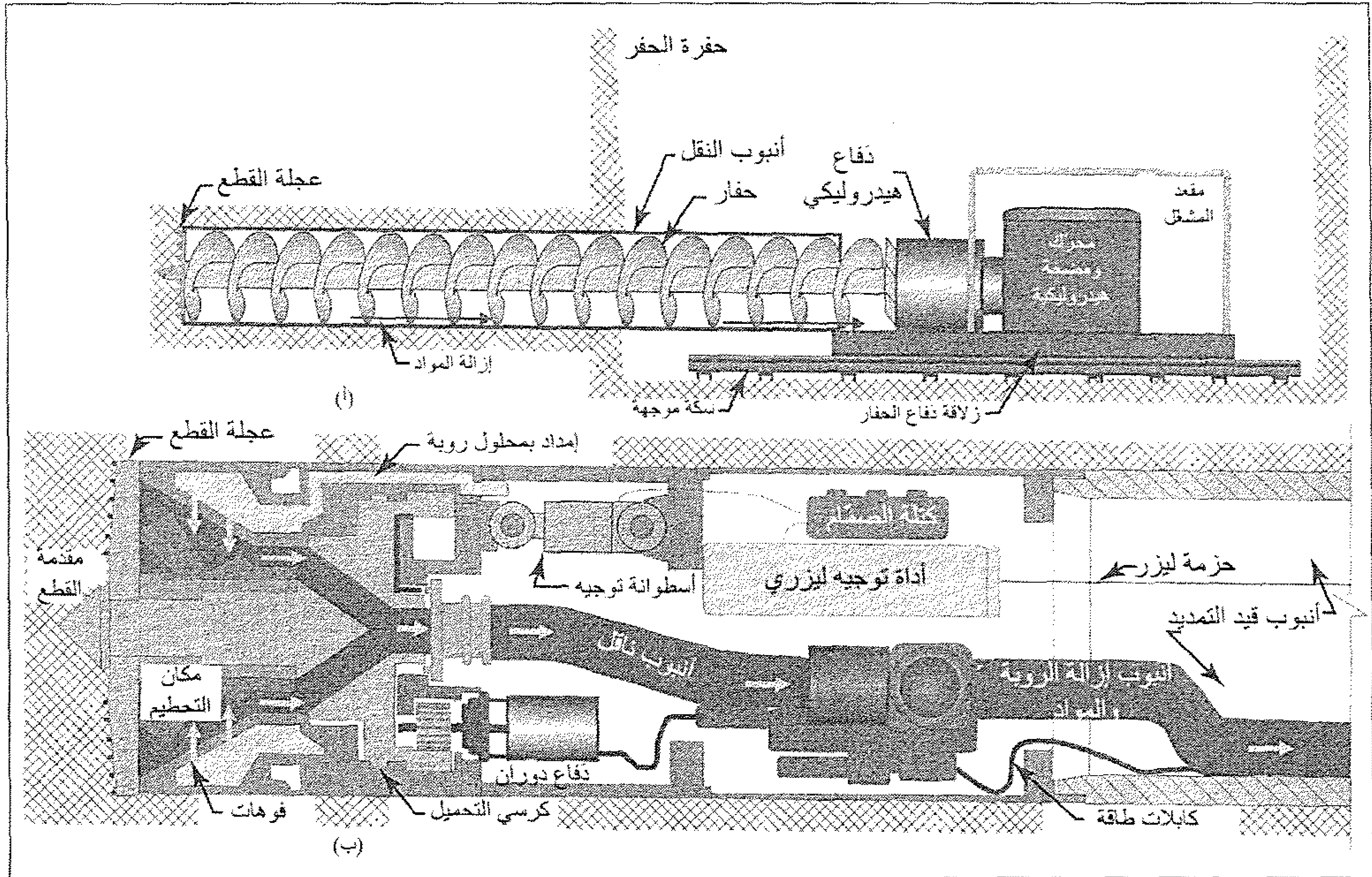
شكل 10-3: مقطع مفتوح في مجرور صحي يقطع مجرى نهر. لقد تمّ تركيب HDPE خلف آلة حفر أنفاق ميكرويّة. بدأ الإنشاء بتجهيز بنيتي حفرة النفق وحفرة الالتقاء. لقد تمّ تمديد المجرور الكونكريتي اعتباراً من السطح عبر خندق مفتوح

الفتحات

معظم الفتحات (Manholes) تكون حلقيةً بقطر داخلي يبلغ 4 أقدام وهو ما يعتبر كافياً للقيام بأعمال الكشف والتنظيف (انظر الشكل 10-5). أما بالنسبة إلى الأنابيب صغيرة الأقطار فتُشيّد الفتحة على الخط المركزي للمجرور مباشرة. بينما في المجارير الكبيرة جداً فيمكن تأمين الوصول إليها بواسطة منصات هابطة إلى أحد جانبيها لتسهيل إدخال أدوات التنظيف. تكون عادةً الأغطية الشبكيّة وإطارات الفتحات من الحديد اللّدن بفتحة مرور حدّها الأدنى 54 cm (21 in.). تُستخدم الأغطية المصمتة على المجارير الصحية، بينما تُستخدم أغطية ذات فتحات، وتُثبّت درجات أو سلم للوصول إلى المجرور. ويمكن للجدرانِ أن تكون مبنيةً من حلقات أو من قطع من البيتون أو من القرميد أو من الباطون المسكوب.

يتم نقل انسياب مياه الصرف عبر الفتحة ضمن قناة ملساء لمقطعها شكل حرف U صُمّمت في قاعدة البيتون. وعندما يدخل إلى الفتحة أكثر من مجرور، ينبغي أن تكون القنوات الداخلية منحنية لكي تندمج مع جداول الانسياب. وإذا غيّر

المجرور اتجاهه بدون تغيير مناسب في قطره، فينبغي أن يتأمّن هبوطاً قدرُه ما بين 0.05 ft إلى 0.10 ft (1.5 cm إلى 3 cm) في قناة الفتحة ليؤمّن فقدَ علّو. وعندما ينضم مجرور صغير إلى مجرور كبير، ينبغي خفض قاعدة الأنبوب الكبير للمحافظة على انتقال متجانس للانسياب. والطريقة التقريبية للتوصل إلى ذلك تكمن في وضع نقاط عمق قدره .0.8 in لكلا المجرورين على الارتفاع نفسه، والتقنية البديلة لذلك هي في جعل قمتي المجرورين على الارتفاع نفسه. تُستخدم فتحة هبوط إن كان من الضروري خفض ارتفاع المجرور في الفتحة بأكثر من .24 in (شكل 5-10 ب). ومثل هذه البنية مطلوبة لحماية الشخص الذي سيدخل إليها، وكذلك لتفادي الأذى الناتج من تناثر المواد الصلبة على الجدران. يسمح مقطع أنبوب T يمتدّ فوق فتحة الهبوط، بالوصول إلى خط المجرور لتنظيف المعدات.



شكل 10-4: مخططات لتركيب خط مجرور بلا خندق (أ) آلة ثقب أفقي في حفرة الحفر وهي تركب أنبوب نقل كإكساء لأنبوب المجرور، يتمّ إدخاله بعد سحب الحفار. تقطع العجلة الأمامية المواد وتحفرها وتسحب الفتات إلى حفرة الحفر للتخلص منها. (ب) آلة حفر نفق ميكروي تمد أنابيب المجاري في النفق المحفور. يتمّ تفتيت الحطام ومزجه مع روبة وضخها من ثم إلى خارج النفق. يتمّ وضع أنبوب المجرور في موضعه خلف الآلة بواسطة رافعة. وتُخرج آلة حفر النفق الميكروي من حفرة استقبال (رسم توضيحي لنفق ميكروي نموذج AVN25OZ بموافقة .Herrenknecht AG)

يتسبب هبوط الفتحة بمقدار يتجاوز 6 أقدام، بتآكل واسع ما ينتج منه انبثاق رائحة كريهة. يخفف الدخول الدوامي للانسياب في الفتحة، كما هو موضّح في الشكل (10-5ج)، من السرعة في أثناء الهبوط كما تخفف من التآكل وتشكّل الرائحة الكريهة. ينبغي أن تكون أمكنة الفتحات في كل تغييرات انحدار المجرور، وحجم الأنبوب، واستقامته، عند كل التقاطعات، وعند نهاية كل أنبوب، على تباعد لا يتعدى 400 ft (120 m) للمجارير ذات أقطار .15 in، و500 ft (150 m) للمجارير ذات أقطار .18 in إلى .30 in. ويعتبر في بعض البلديات أن تباعداً قدره 300 ft (90 m) هو الحدّ الأعظمي للمجارير صغيرة الأقطار. وقد تزداد المسافات إلى ما فوق 500 ft عندما يكون الأنبوب كبيراً لدرجة يمكن المشي في المجرور.

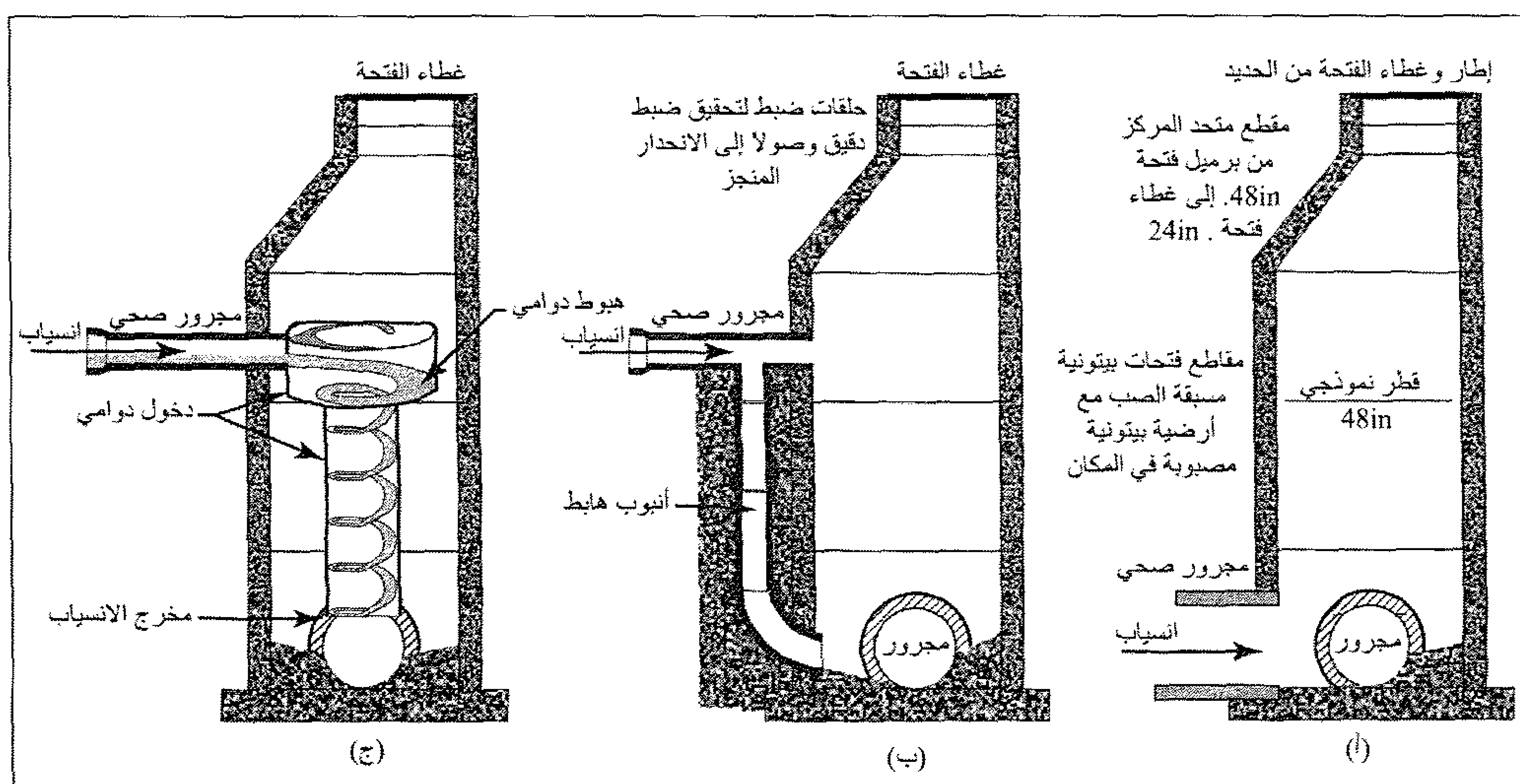
يجب عزل الفتحات المبنية في مناطق عالية منسوب المياه الجوفيّة عن المياه، وذلك لمنع الرشح الفائض. ويتم عزل السطوح الخارجية قبل ردم الحفريات.

يتم مدّ مجارير منزل على امتداد خط مستقيم متدرج، باستخدام أنابيب .4 in إلى .6in (100 mm 150 mm). والميل الأدنى المفضل هو 2% أو $\frac{1}{4}$ in /ft، رغم أنه قد يستخدم أحياناً ميلاً ضئيلاً قدره $\frac{1}{8}$ in /ft، وفي بعض التطورات السكنية، فإن ارتداد انسياب البيوت من الشارع يتحكّم في ميل الوصلة. ينبغي لخندق الأنبوب الذي حُفر لمدّ خط خدمة، أن يكون مستقيماً وأن يكون قد حُفر إلى العمق المطلوب. وأنّى تكون التربة مناسبةً لتدعيم الأنبوب، يمكن عندها للأرض الطبيعية للخندق أن تعطى الشكل الذي يدعم برميل الأنبوب. قد تُستخدم كسارات حصى أو رمل خشن لإعداد طبقة قاعدية إذا تطلب الأمر ردماً لتأمين تدعيم متجانس. ويتطلب الأمر أيضاً أنابيب عالية النوعية، ووصلات محكمة الإغلاق، وعمالةً حرفيةً ماهرةً لجعل الرشح وتغلغل الجذور في الحدّ الأدنى.

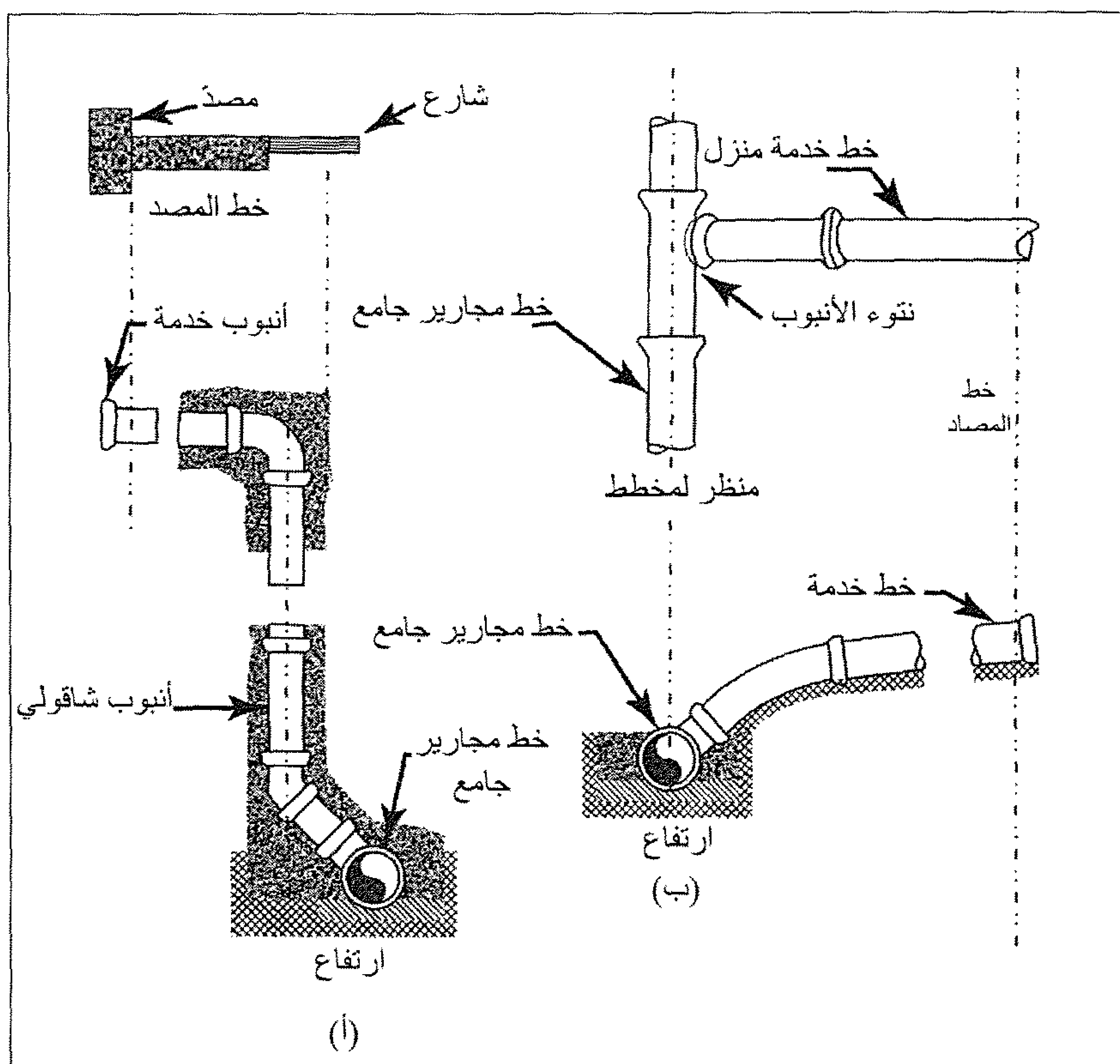
يتم تأمين وصلة خدمة إلى مجرور صحيٍّ بواسطة وصلة T تدار للأعلى بمقدار 45^o أو أكثر اعتباراً من المستوى الأفقي، كما هو موضّح في الشكل 10-6،

وبالتالي لا يحدث فيض مرتدّ في حال ملأ الانسياب مجرورَ الجمع بشكل كامل. فإن كان المجرور عميقاً تكون غالباً وصلة T وأنبوب الرفع شاقوليين، وقد يُحاطان بالبيتون لتجنب أيّ ضرر قد يلحق بهما في أثناء الردم. تؤمِّن مصارف الأبنية الملحقة بمصارف المجارير اتصالاً ما بين الهواء الموجود في أنابيب المجرور والغلاف الجوي.

تمنع مصائد تمديدات الأنابيب الموجودة في المراحيض ومصارف البالوعات ارتداد غازات المجاري نحو الأعلى إلى داخل البناء، بينما يتسبّب سقوط مياه الصرف تحت ركام الفضلات بجذب الهواء إلى داخل الأنبوب. يخفُف وجود الأكسجين في هواء المجرور من إنتاج كبريتيد الهيدروجين، كما تحمل التهوية الغازات المتطايرة التي قد تنتج من طرح غير نظامي لسوائل قابلة للاشتعال. في بعض الحالات حيث لا تكون التهوية الطبيعية كافية نتيجة خطوط مجاري طويلة مع قلّة وصلات الخدمة، يتمّ تركيب تهوية قسرية لسحب الهواء إلى خارج المجرور حيث تُنفث من مداخن عالية أو إخضاعها لعملية إزالة الرائحة الكريهة.



شكل 5-10: فتحات مجارير: (أ) فتحة مجرور نموذجيّة، يسمح المقطع متحد المركز بولوج أسهل لأغراض الصيانة. (ب) تُستخدم عادةً بنى فتحات هابطة عندما تكون التباعدات الشاقوليّة أكبر أو تساوي 24 إنش. (ج) الدخولات الدوّامية للانسياب يخفف الروائح الكريهة الناتجة عن هبوط أنابيب المجارير، وذلك بتخفيف السرعة وتهوية أنبوب الصرف في البنية الهابطة



شكل 10-6: خدمة توصيل الصرف الصحي النموذجي (أ) مجرور عميق (ب) اتصال مع مجرور ضحل

10-3 قياس واعتيان الانسياب في المجارير

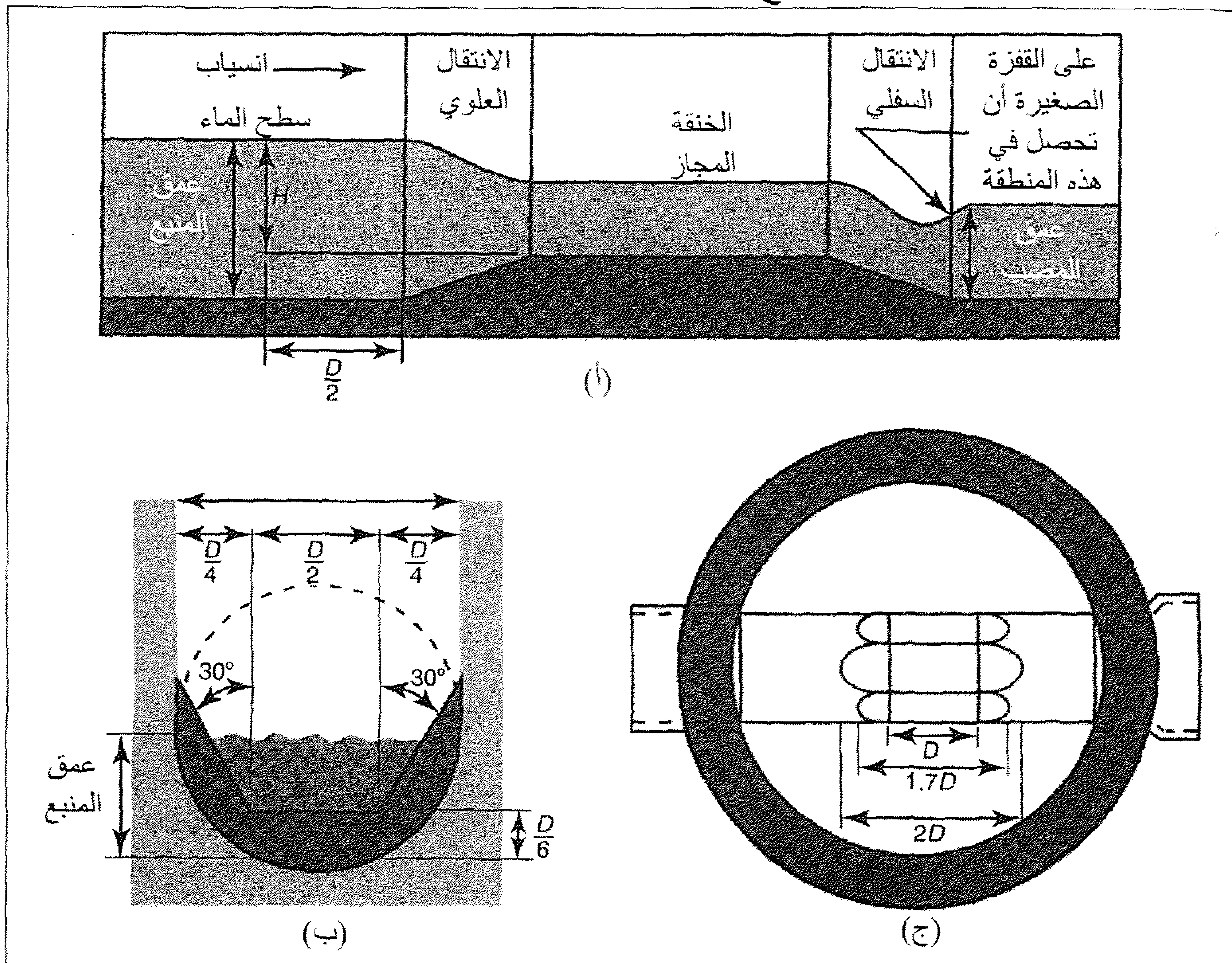
تتطلب مراقبة استخدام المجاري قياساً واعتياناً مركّباً للانسياب، في أمكنة حساسّة في نظام الجمع. يحدّد ويشير تقويم فترات انسياب الذروة، والسعة غير المُستخدمة للأنابيب إلى مشكلة الرشح للخارج – والتسرب للداخل. إن وجود محطات اعتيان من طروحات الصرف الصناعي ضروري لضبط استخدام المجاري ولتقدير بيانات الانسياب وقوته لتحديد قيم الرسوم للمستخدمين. يمكن حساب كمية الانسياب المقدرة من العمق المقاس للانسياب باستخدام معادلةماننغ، إن كان ميل الأنبوب معروفاً (فقرة 8-4). وهناك طريقة تقريبية أخرى، تُضرب فيها مساحة المنطقة العرضية الرطبة للانسياب بالسرعة التي تمّ الحصول عليها من عدّاد يقوم بالقياس حالياً أو باستخدام الصبغات والجزء الطافي. إن تركيب مسيّلٍ اصطناعي لنقل المياه أمر ضروري

لقياسات انسياب دقيقة ولاعتيان مركب أوتوماتيكي. يمكن لقناة بالمار – باولز، ذات مقطع عرضي معيني الشكل لمنطقة المجاز الضيق كما يبدو في الشكل 10-7 أن تُدخل في أنبوب مجاري موجود أصلاً وذي انحدار مناسب. (ولقنوات بالمار – باولز، أشكالٌ مختلفة لمقطعها العرضي، غير أن الشكل القياسي من بين أشكال متعدّدة يوفرها المصنعون التجاريون هو الشكل المعيني)[1]. ويفضّل المقطع المعيني ذو القاع المسطح (الشكل 10-7 أ و ب) لاستخدامه مع الأنابيب الدائرية، وذلك نظراً إلى تمتعه بأقل تقلص عبر منطقة الانسياب الحرج، وكذلك لتمتعه بأدنى فقدِ علوٍّ. ومسيّل الماء (flume) هو في الأساس تضيُّقٌ في قناة التصريف يهدف إلى تأمين انسياب حرج بسرعة عالية في المجاز الضيّق.

يرتبط مقدار ارتفاع منسوب الماء باتجاه أعلى الانسياب H، فوق المجاز الضيق خلال الانسياب الحر، بكمية الانسياب. بيد أن أبعاد قنوات بالمار – باولز ليست مُعايرةً لتعطي معادلة انسياب رياضية أسوة بقنوات بارشال. بدلاً من ذلك يقدِّم مصنعو قنوات بالمار– باولز منحنياً لتقدير معدّلات الانسياب أو بيانات مجدولة لهذه التقديرات. والمكان النموذجي لقياس منسوب الماء هو على مسافة تبلغ نصف D (D = قطر الأنبوب أو عرض القناة) مقاسةً من مدخل المسيل باتجاه أعلى الانسياب. والموقع الدقيق ليس أمراً أساسيّاً، شريطة أن يكون باتجاه أعلى الانسياب اعتباراً من أعلى المقطع الانتقالي. ينبغي أن يكون الانسياب سلساً في قناة أعلى الانسياب، أما في أسفل الانسياب فينبغي أن يكون الانسياب المنطلق بسرعة جلياً مشيراً إلى طرح غير مقيّد. وينبغي للمسيل بحدّ ذاته أن يكون مستوياً، إلا أنه من الضروري أن يكون للأنبوب أو القناة الواقعة أسفل الانسياب ميلاً أدنى لتأمين انسياب حرج عبر المجاز الضيّق لتفادي غمر المسيل. يحدث الانسياب الحرج المطلوب إذا كان عمق أسفل الانسياب أقل من 85% من عمق أعلى الانسياب (شكل 10-7 أ).

تُركّب قنوات بالمار – باولز في الإنشاءات المؤقتة في منتصف مقطع مجرور موجود في فتحة ما. وتكون عادةً مسبقة الصنع ومن الزجاج الليفي، أو البلاستيك المسلح، أو الفولاذ غير القابل للصدأ بأحجام تتراوح أقطارها من 4 in. إلى 30 in.

كي تلائم الأقطار الداخلية لأنابيب المجارير. تُركّب القنوات في الإنشاءات الدائمة مُحتضَنَةً ضمن بيتون مسكوب. ويمكن استخدام سدّ حاد القمة ذي فتحات مثلثة أو مستطيلة أو معينية، لقياس الانسياب وللاعتيان المركب. والتركيب ضمن الفتحة صعب وعموماً غير مناسب، نظراً إلى ترسب المواد الصلبة القابلة للترسب في قناة الاتصال خلف السد، بينما تتجمّع المواد الصلبة والطافية على صفيحة السد.



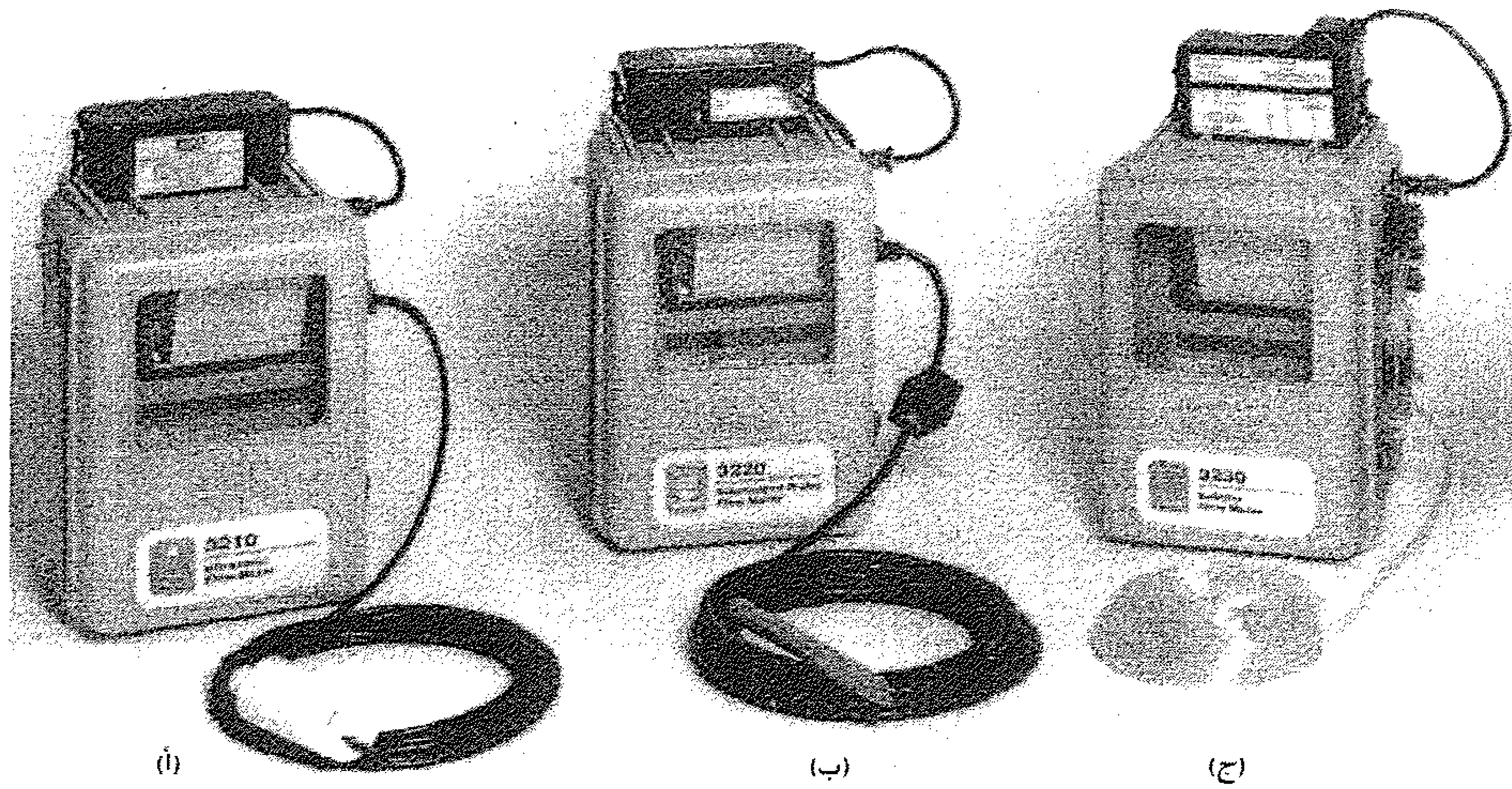
شكل 10-7: مسيل بالمار – باولز ذي مقطع عرضي معيني للمجاز الضيق. (أ) مسيل انسياب حر الماء بعمق H فوق المجاز الضيق للمسيل كمؤشر على التصريف. (ب) ترتيب أبعاد المقطع العرضي للمجاز الضيق المعيني الشكل حيث تساوي D قطر الأنبوب. (ج) منظر لمخطط فتحة ذات مسيل بالمار – باولز مركب في أنبوب مجاري (موافقة من: Isco (Open Channel Flow Measurement Handbook Isco, Inc., Environmental Division

تستخدم عدادات الانسياب ذات القناة المفتوحة، المبينة في الشكل 10-8، مستشعر فوق صوتي، وسابرة مغمورة أو مولّد فقاعات بهدف قياس منسوب الماء أو العمق. تتمتع العدّادات التي تحتضن هذه المستشعرات المختلفة بشاشة عرض من الكريستال

السائل (LCD) ولوحة مفاتيح للبرمجة. يتم في ذاكرة الحاسوب حفظ التحويلات الرياضية التي تحوّل منسوب الماء إلى معدّل انسياب التي تقيسها الأنواع المختلفة من القنوات والسدود، وكذلك مساواة ماننغ لانسياب القناة المفتوحة. وعند العمل بمعدات خاصة لقياس الانسياب، يمكن إدخال مجموعة بيانات لمناسيب الماء ولمعدلات الانسياب أو للمعادلات الرياضية في ذاكرة عدّاد الانسياب لتحويل مناسيب الماء المُقاسة إلى معدّلات انسياب. يظهر LCD باستمرار كلاً من منسوب الماء، ومعدّل الانسياب، والانسياب التراكمي، إضافة إلى استخدامه كشاشة برمجة. تقوم طابعة مصفوفة نقطية مدمجة في العدّاد برسم بيانات مناسيب الماء أو معدّلات الانسياب مقابل بيانات الانسياب الكلي. وعندما يوصل جامع العينات إلى العداد، يتمّ تسجيل الزمن، ورقم قارورة كل عينة. ويمكن إما بأمر إلى جامع العينات أو بفواصل زمنيةٍ يتم انتقاؤها، طباعة تقرير موجز. كما يمكن أيضاً طباعة برنامج عدّاد الانسياب، وكذلك البيانات المخزنة في الذاكرة الداخلية للعداد بصورة مخططات بيانية، أو تقارير، أو ملخصات باستخدام حاسوب وبرمجيات توفرها الجهة الصانعة للعداد.

يمكن تشغيل العدّادات بطاقة تيار مستمرٍّ توفرها بطاريات داعمة مدمجة ضمن العدّاد أو مجموعة بطاريات محمولة قابلة للشحن. يبث المستشعر فوق الصوتي (شكل 10-8 أ) نبضةً صوتية تنعكس من على سطح الماء المنساب. ويتحدد منسوب الماء استناداً إلى الزمن المستغرق ما بين إرسال النبضة واستقبال صداها. وتعدّل سابرة حرارية مدمجة تغيرات درجة حرارة الهواء. ونظراً إلى كون المستشعر ليس بتماسٍ مع الماء، يتم وضعه فوق موقع القياس باستخدام منصب مرتفع أو قضيب معلّق. والمستشعر فوق الصوتي مناسب لقياسات منسوب مياه الصرف باتجاه المصدر من السدود والقنوات حيثما يكون الانسياب سلساً، نظراً إلى أنه لا يتأثر بالمواد الصلبة المعلّقة أو الشحوم. والسابرة المغمورة (شكل 10-8 أ) هي محوّل ضغط تفاضلي طاقي لقياس عمق الماء. ولتقليل إعاقة جدول الانسياب إلى الحدّ الأدنى يُعطى للسابرة شكل انسيابي قليل الارتفاع. يقوم نظام تهوية بتعديل تغيّرات الضغط الجوي. وباستخدام حلقة أو حزام مرتفعين خاصين يمكن للسابرة

أن تُركّب في أنبوبٍ، أو في أسفل الفتحة، أو في قناة مفتوحة. تتوفر معظم القنوات مسبقة الصنع بتجويف مكمّل يسمح بتركيب سابرة. والسابرة المغمورة مناسبة لقياسات عمق مياه الصرف وتتميز بعدم تداخل الفتات، والشحم، أو الزبد الطافي. يُلحق الأنبوب المولد للفقاعات الصادر عن عدّاد الانسياب (شكل 10-8 ج)، بأنبوب صلب بحيث تكون نهاية المخرج مغمورةً في قناة الانسياب. وللعدّاد ضاغط هواء داخلي لإجبار انسياب هواء مُقاس الحجم على المرور عبر أنبوب مولّد الفقاعات المغمور. ومن خلال قياس الضغط اللازم لإجبار فقاعات الهواء على الخروج من الأنبوب، يمكن قياس عمق الماء بدقة. يمكن استخدام مولّد الفقاعات في تطبيقات مياه الصرف، نظراً إلى أن تشغيله لا يتأثر بالاضطراب، أو بالمواد الصلبة الطافية أو المعلّقة أو بتأرجحات درجات الحرارة.

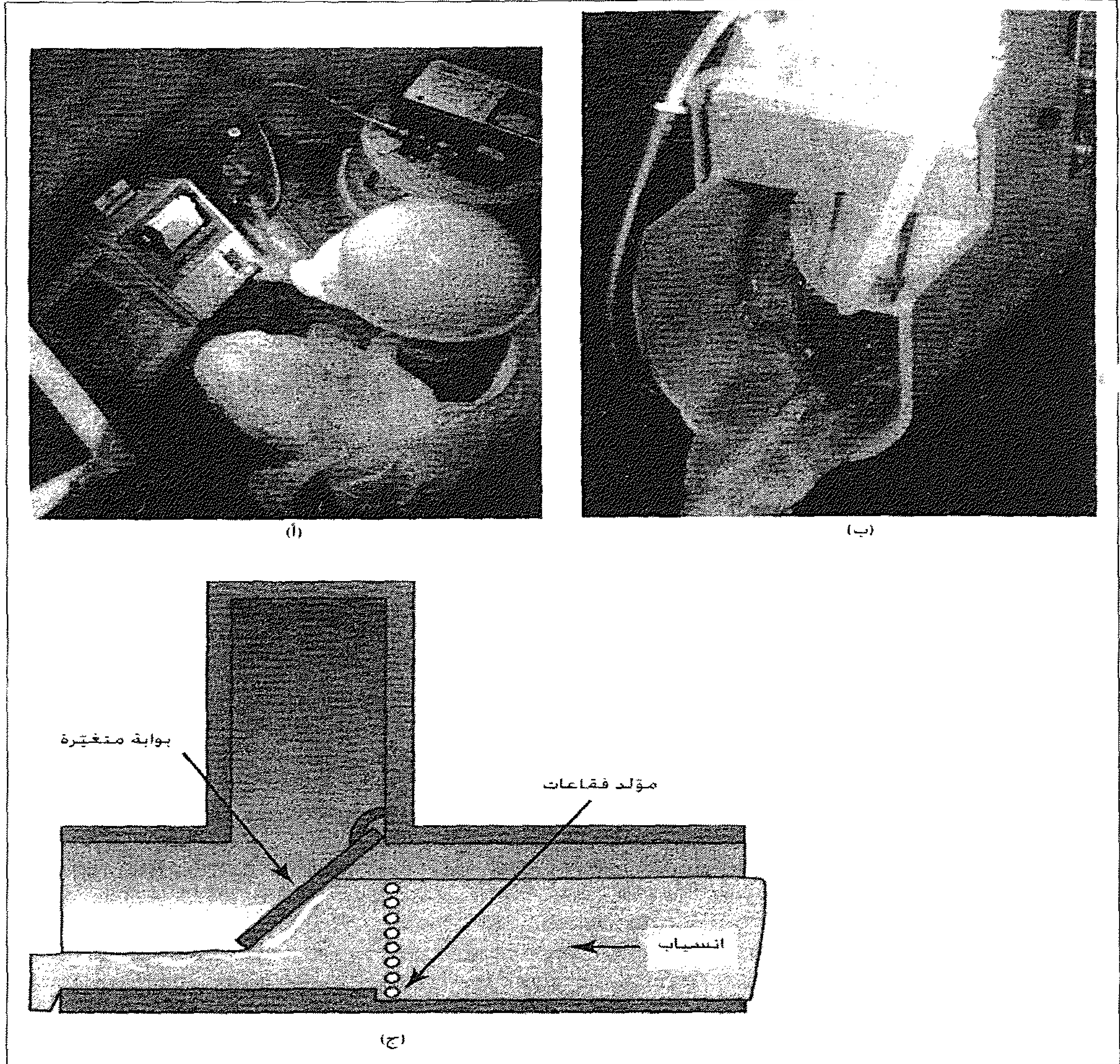


شكل 10-8: عدادات انسياب قناة مفتوحة تحويلات منسوب – معدل لمعظم السدود والمسيلات، عرض بصري يظهر منسوب الماء، معدّل الانسياب، الانسياب التراكمي، ذاكرة داخلية لحفظ البيانات، وأداة لقياس منسوب الماء أو عمق الانسياب باستخدام: (أ) مستشعر فوق صوتي، (ب) سابرة مغمورة أو (ج) مولّد فقاعات. (موافقة من Isco. Inc., Environmental Division).

إن لعدّاد مياه القناة المفتوحة، ممرَّ بوابةٍ متغيراً، وما هو مبيّن في الشكل 10-9 هو عدّاد محمول لقياس الانسياب في أنابيبٍ أقطارها 4 و6 و.in 8، مَزيّتُه الرئيسة هو انتفاء الحاجة لسدٍ أو لمسيلٍ أو لمعايرة. تركب أداة العد بإقحامها بالأنبوب أعلى

المسيل قبل الفتحة. تثبت حلقات من الفولاذ غير القابل للصدأ الأداة المقحمة في موضعها ضمن الأنبوب، وتحكم وسادة مطاطيّة إغلاق الأنبوب، وتمرير الانسياب عبر الأداة المقحمة. ولعداد الانسياب شاشة عرض مبرمجة ولوحة مفاتيح، وذاكرة داخلية لحفظ البيانات التي يمكن طبعُها بواسطة الحاسوب كمخططات بيانية أو تقارير. وكما يظهر الشكل (10-9 ج)، فإن للأداة المُقحَمة بوابةً تدور حول محور تنساب مياه الصرف تحتها. تتسبب البوابة بوجود منسوب مياه أعلى المسيل يُقاس بواسطة مولّد فقاعات يتمّ ضبطه أوتوماتيكياً استجابةً لتغيرات معدّلات الانسياب. ويُقدَّر موضعُ البوابة ومنسوب أعلى المسيل معاً، معدّل انسياب مياه الصرف. وللمحافظة على الدقّة، يتمّ تطهير أنبوب مولّد الفقاعات وفتح البوابة للسماح لأيّ مواد صلبة مترسّبة أن تُغسلَ وتُجرف عبرها. ولجامع عينات مياه الصرف المحمول (شكل 10-11) أداة تحكّم مع شاشة عرض LCD ولوحة تحكّم لبرمجة إعدادات الاعتيان، ومضخة تموجيّة محميّة بغطاء (غير ظاهر في الشكل). وقد يكون الاعتيان على فترات منتظمة أو غير منتظمة لجمعٍ متتابعٍ في قارورة منفردة، أو في قارورات متعدّدة أو في قارورة منفردة تضمّ عينةً مركبّة، أو اعتياناً منفصلاً، أو جمع انسياب موزون. تقيس المضخة التموجية حجماً مبرمجاً من العينة من خلال أنبوب مصٍّ قابل للانثناء ينتهي بمصفاة في الجزء المغمور. تعكس المضخة عملها قبل وبعد الاعتيان لتنقية أنبوب المصّ هوائياً بهدف تخفيض التلوّث المتبادل ما بين العينات إلى الحدّ الأدنى. بعد السحب يتحرك ذراع موزع دوّار إلى الموقع المبرمج فوق قارورة الجمع. ولقاعدة جامع العينات (10-10 ب) خيارات تتعلق بالقارورة، لاعتيانٍ متتابع في 24 قارورة، أو 4 قوارير ولاعتيان مركّب في قوارير كبيرة منفردة. يتم التحكّم بتجميع العينة وفقاً للتيار (اعتيان مركب) بملحق سدّي يقوم باستقبال إشارات إلكترونية من عدّاد الانسياب. تتراوح محطات اعتيان مياه الصرف الصناعي من فتحة قياسية إلى حجرة منفصلة كبيرة إلى حد يسمح أن تستوعب أدوات تسجيل انسياب واعتيان أوتوماتيكي. تكون الفتحة الموجودة على مجرور خدمة متجه إلى منشأة تجاريّة، عموماً مناسبة، شريطةَ أن لا يكون قياس الانسياب ولا الاعتيان المركب مطلوبين. ويمكن تقدير كمية انسياب مياه صرف

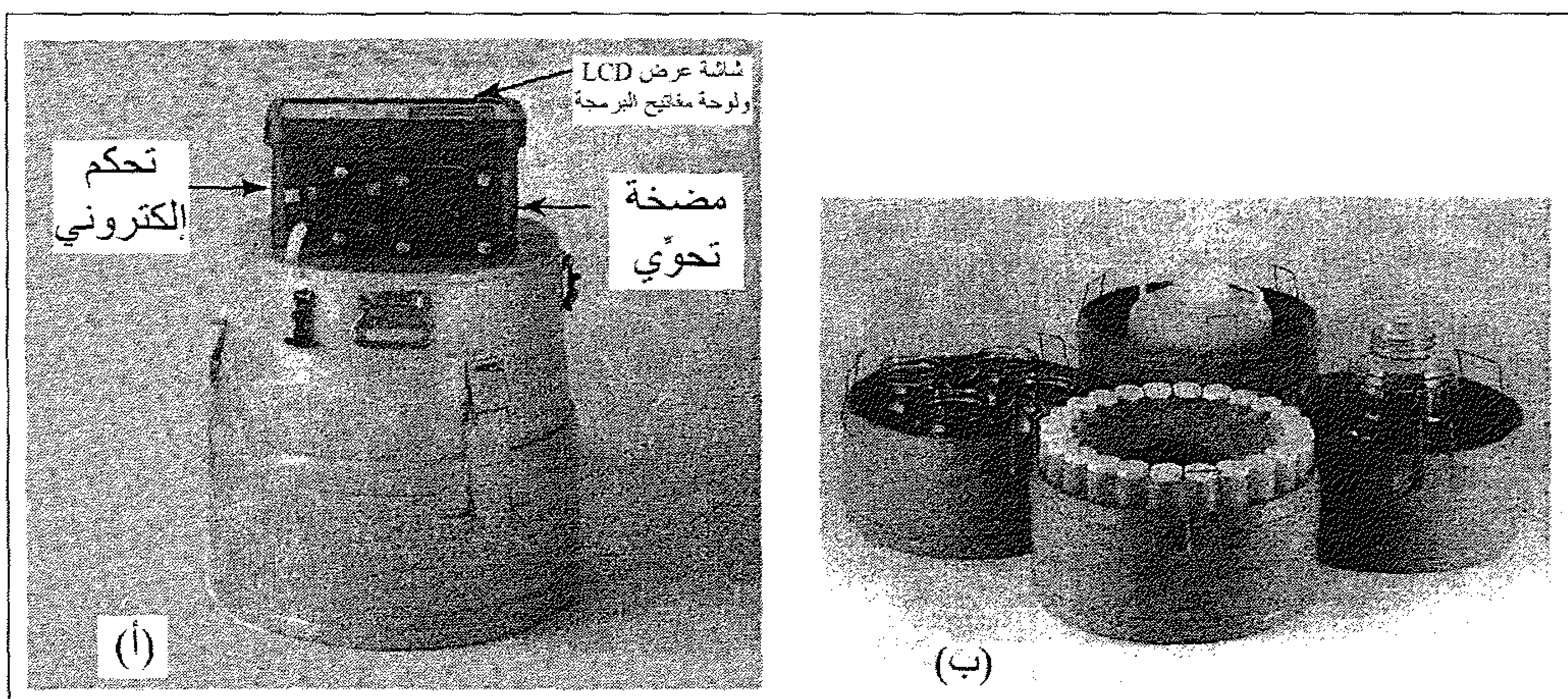
المنشآت الصغيرة اعتباراً من استهلاك الماء المسجل بواسطة عدّاد التجهيز بالماء، ويكون عندها الاعتيان العشوائي مناسباً لمراقبة نوعية الماء.



شكل 10-9 : عدّاد مياه القناة المفتوحة، ذا ممر بوابة متغير. (أ) أداة قياس مقحمة ذات بوابة متغير مركب في أنبوب مياه صرف بحيث يكون عدّاد الانسياب على اليسار وجامع العينات المركبّة الأوتوماتيكي على اليمين. (ب) أداة قياس مقحمة ذات انسياب يمر تحت البوابة المتغيرة. (ج) إن مبدأ تشغيل أداة قياس مقحمة هو أن موضع البوابة وعمق الماء أعلى الانسياب يقدران معدّل الانسياب. (موافقة من: **Isco, Inc., Environmental Division**)

أما في المنشآت التجارية والصناعية متوسطة الحجم، فإن محطة اعتيان مشابهة لتلك المبينة في الشكل (10-11) تكون مناسبة. يمر المجرور عبر حجرة من البيتون المسلح ذات حجم كاف لتركيب تقليدي لعدّاد انسياب وجامع العينات. إن

الأداة المعتادة لقياس الانسياب هي قناة بالمار - باولز تركّب في أنبوب المجرور. تُستخدم منصة مرتفعة وحفرة تهدئة عمودية لتسوية قياسات منسوب الماء أعلى الانسياب القادم من المسيل. يُستخدم جامع عيناتٍ محمول لجمع عينات مركبّة أو متتابعة أوتوماتيكياً بفواصل زمنية مُبرمجة. يوضع خرطوم السحب في الانسياب القادم من المسيل نحو الأسفل، ويوضع جامع العينات على المنصة التي تعلوه. إن وجود أنظمة مؤتمتة كلياً في المنشآت الصناعية الكبرى أمر أساسي للمراقبة المستمرّة لطرح مياه الصرف. يتألف نظام قياس الانسياب من قناة بارشال أو بالمار - باولز مع مسجل انسياب وآلة تجميع، ويكون غالباً جامع العينات مبرمجاً لجمع عينات مركبّة باستمرار، بفواصل زمنية محدّدة.



شكل 10-10: جامع عيّنات محمول لمياه الصرف. (أ) جامع العينات أبعد غطاؤه لإظهار أداة التحكّم المبرمجة والمضخة التموجيّة (ب) خيارات قارورة الجمع لاعتيان متتابع أو مركب (موافقة من Isco, Inc., Environmental Division)

4-10 أنابيب المجارير والوصلات

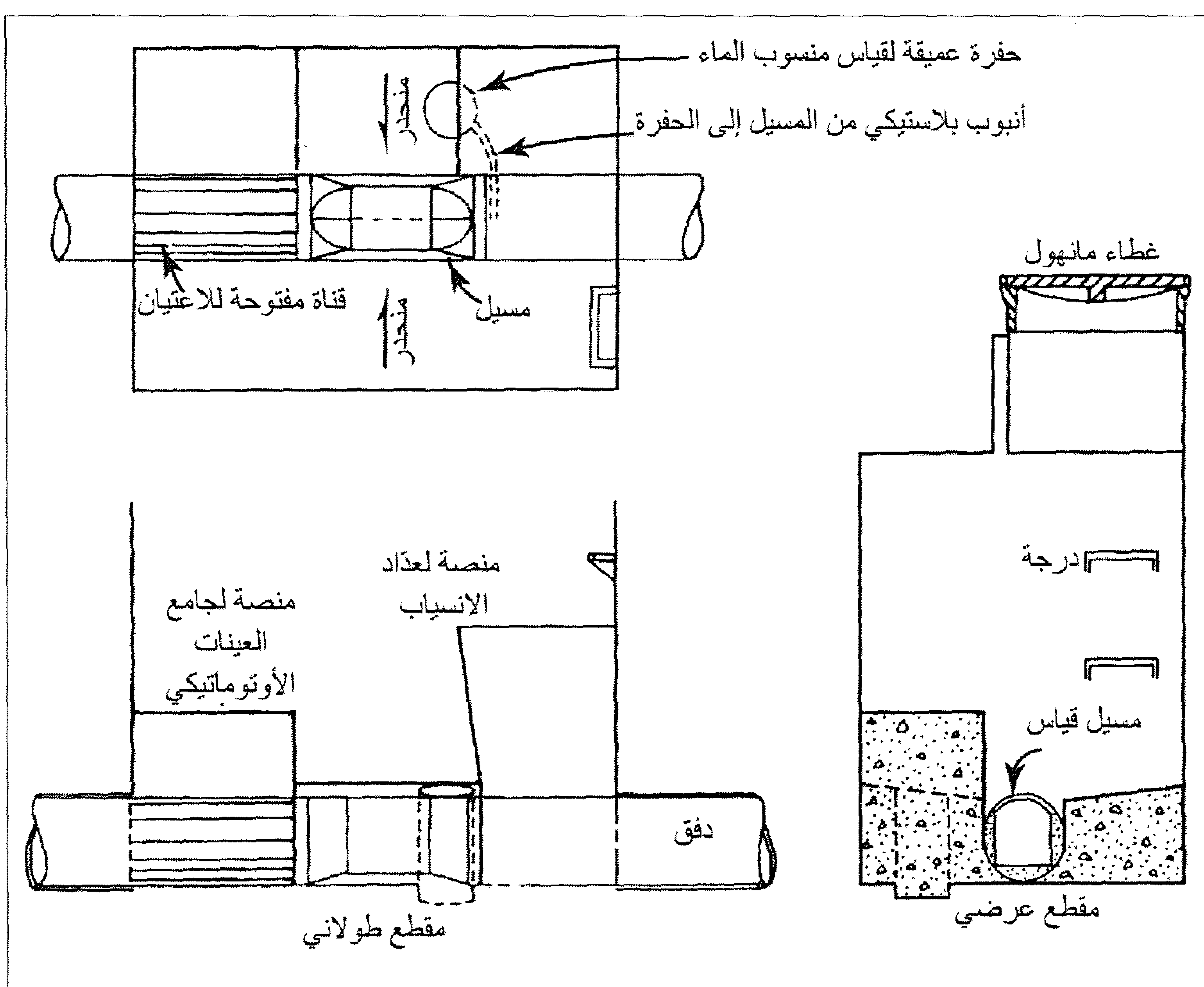
تصنع أنابيب مجارير دائرية بقطر داخلي يتراوح من 4 in. إلى 144 in. بفواصل قدرها 2 in. للأنابيب ذات القطر الواقع ما بين 4 in. إلى 12 in.، وتزداد هذه الفواصل إلى 3 in. إن كان قطر الأنابيب ما بين 12 in. إلى 36 in.، تزداد هذه الفواصل إلى 6 in. إن كان قطر الأنابيب ما بين 36 in. إلى 144 in.. تتفاوت الأحجام الأعظمية باختلاف المواد، فمثلاً يبلغ أكبر قطر لأنبوب غضار

42 in. والخصائص الفيزيائية الأساسية لأنبوب مجارير هي المتانة لمدى زمنيٍّ طويل، وسطح داخليّ مقاوم للتآكل كي يتحمل تأثير فرك مياه الصرف الحاملة للمواد الرملية، وجدران كتيمة كي تمنع تسرب الماء، وقوة مناسبة كي تقاوم الخلل أو التشوه بتأثير الردميات التي تعلوها أو حمولات حركة السير. وينبغي أن تكون الوصلات متينةً، وسهلةَ التركيب، وعازلةً للمياه بحيث تمنع تسرب الماء أو دخول الجذور.

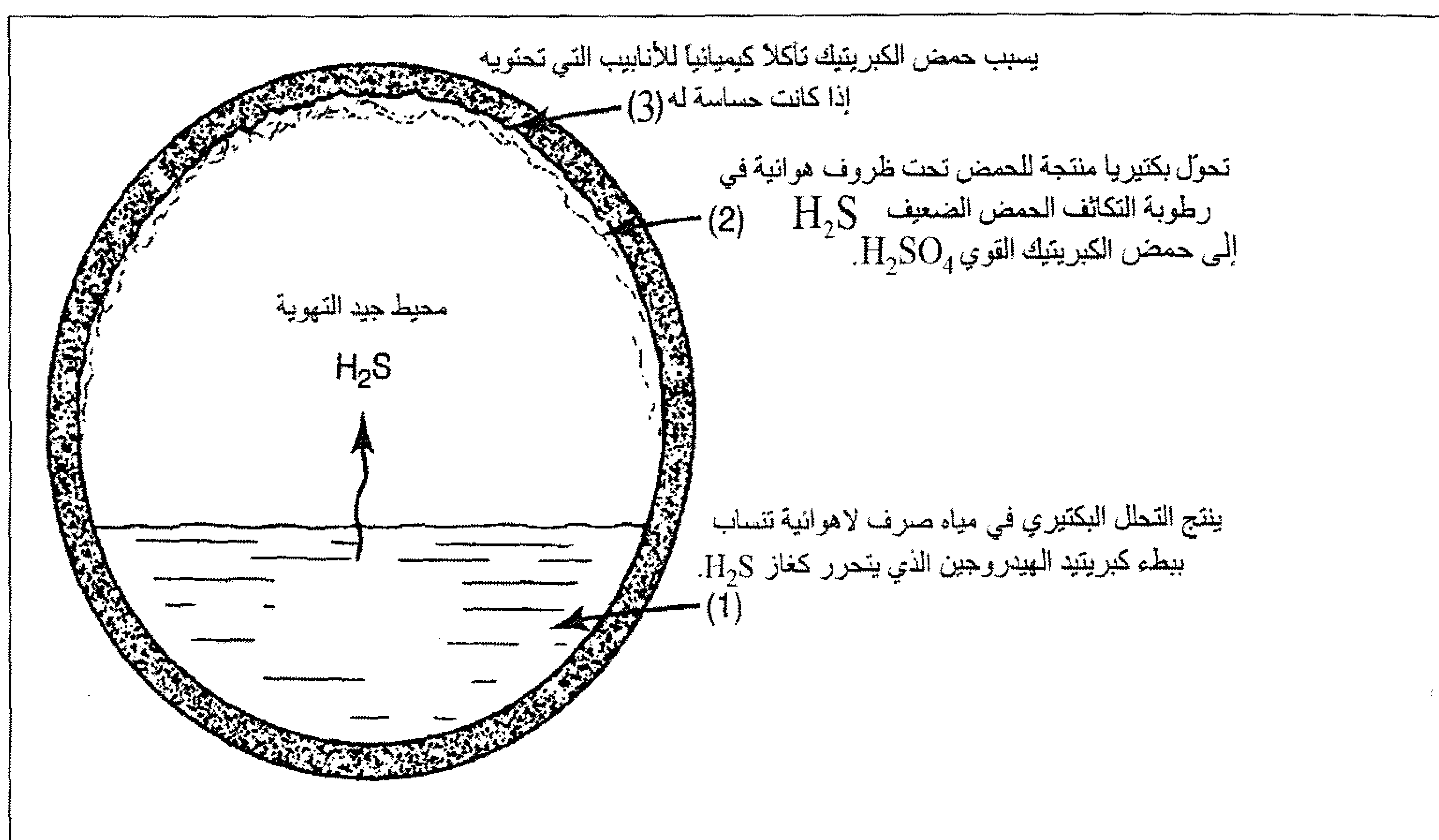
إن أكثر الخصائص الكيميائية لمادة الأنبوب أهمية هي المقاومة لكلٍّ من الذوبان في الماء والتآكل. ينبغي أن تكون سطوح الأنبوب قادرةً على مقاومة التفاعلات الكيميائية والكهروكيميائية من التربة المحيطة ومن مياه الصرف المنقولة في الأنبوب. يمثّل الشكل 12-10 عملية تآكل مقدمة مجارير الصرف الصحي. ينتج النشاط البكتيري في مياه الصرف اللاهوائية غاز كبريتيد الهيدروجين، وبخاصة في المناخات الدافئة عندما تُمد المجارير على انحدارات منبسطة. يتمّ تحوّل كبريتيد الهيدروجين المُمتَز في الماء والمتكثف على مقدمة الأنبوب إلى حمض الكبريتيك بالتأثير البكتيري الهوائي. فإن لم يكن الأنبوب مقاوماً، يقوم الحمض بحلّه وقد ينسبّب بانهيار مقدمة الأنبوب. والإجراء الوقائي الأكثر فاعليّة، هو اختيار مادة أنبوب مقاومة للتآكل كالغضار المُزجّج أو البلاستيك. فإن تطلب الأمر أنبوب بيتون مسلح بالنسبة إلى الأحجام الأكبر، ينبغي عندها الأخذ بالاعتبار استخدام طلاءٍ داخليٍّ واقٍ من قطران الفحم، أو الفينيل أو الإيبوكسي. ويمكن تخفيف تشكّل كبريتيد الهيدروجين في المجرور بإمالة الأنبوب أكثر ما يمكن وبتهويته إن كان ذلك ضرورياً. ينتج تآكل قاعدة الأنبوب نتيجة طرح مياه صرف صناعي حمضية. وأفضل حل لمثل هذه المشكلة هو تقييد وحصر طرح النفايات الحمضية إلى نظام مجارير المدينة. وفي حالة الأنابيب البيتونية، يمكن وضع بطانة مقاومة للتآكل مثل طبقات PVC في مقدمة المجرور للوقاية.

والغضار المزجّج هو المادة الأكثر شيوعاً واستخداماً في أنابيب المجارير الصحية. ويتم تصنيعه من الغضار أو الصفح أو من مزيجهما وذلك بعد طحنه

وسحقه وخلطه مع كمية قليلة من الماء. يتمّ اعتصار الغضار المرطب تحت ضغط عالٍ عبر قالبٍ ليشكل طوقاً وتجويفاً، ثم يُجفّف ويُشوى في أتون للتزجيج. تصنع أنابيب الغضار المزجّج (VCP) بقوة عيارية بقطر 36 in. (900 mm) وبقوة إضافية بقطر 42 in. (1050 mm). تتراوح أطوال الأنابيب من 2 ft إلى 7 ft تبعاً للقطر. تتوفر أنابيب منحنية وأكواع وتركيبات متشعبة، بما في ذلك أشكال T و Y، منفردةً أو مضاعفةً لمعظم قياسات الأنابيب.



شكل 10-11: حجرة اعتيان لمراقبة طرح مياه الصرف الصناعي في مجرور مدينة حيث لا يتطلب الأمر إلا اعتيان من حين لآخر. تمّ تركيب مسيل القياس بشكل دائم، لكن الأمر يتطلب عدّاد انسياب محمول وجامع عينات أوتوماتيكي للقيام باعتيان مركب



شكل 10-12: الظروف البيئية المؤدية إلى تآكل بطانة الأنابيب التي تحدث في المجاري الصحية نتيجة لانحدار منبسط ومياه صرف دافئة

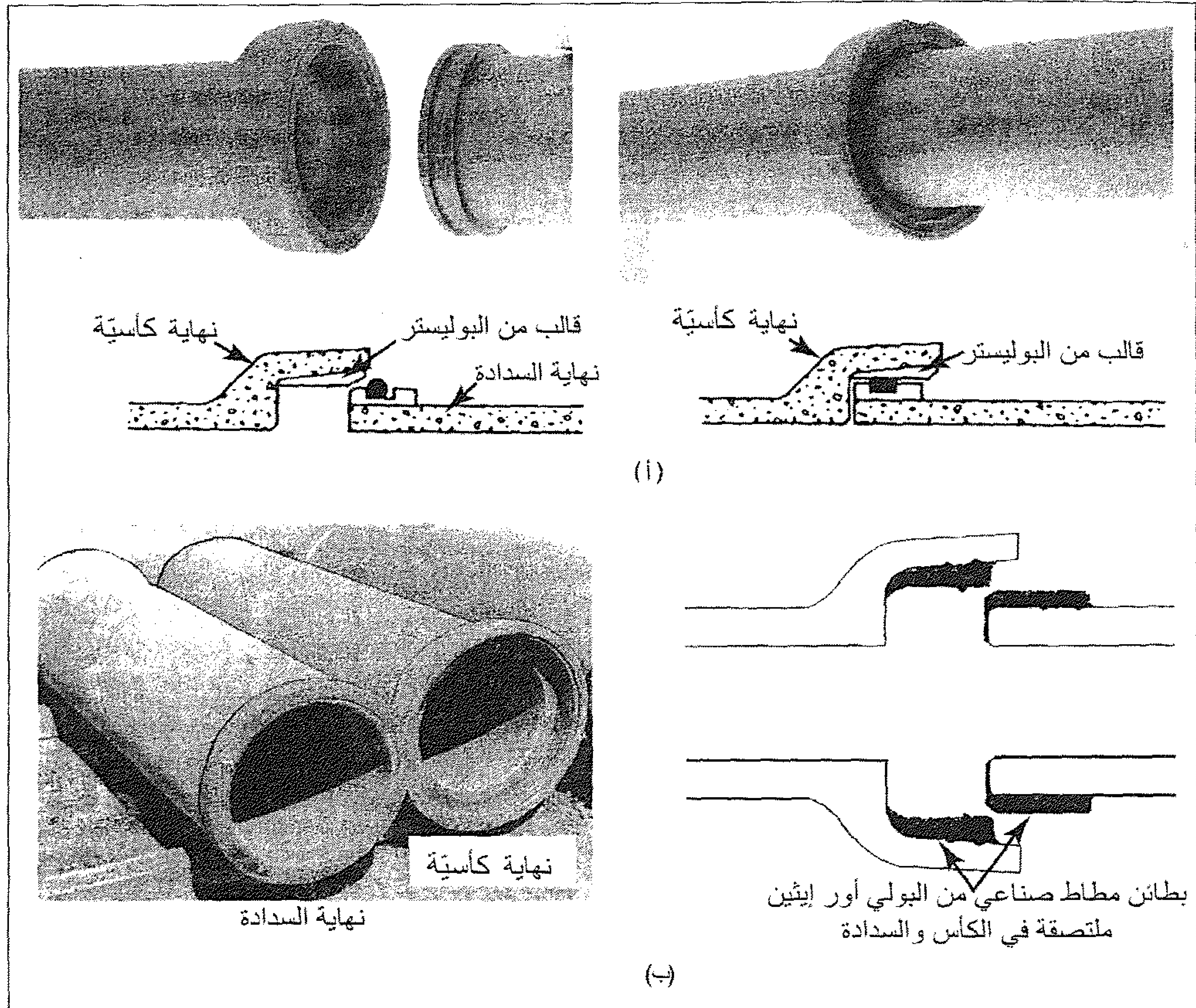
يتم وصل أنابيب الكأس والسدادة والمصنوعة من الغضار المُزجّج، بواسطة وصلات انضغاطية مع سدّادات إحكام من البلاستيك اللّدن لمنع تسرب مياه الصرف، ورشح المياه الجوفية إلى الأنابيب، واختراق جذور الأشجار. وللوصلة المبينة في الشكل (10-13 أ) بطائن ملتصقة ببعضها البعض من البوليستر موجود في الكأس وعلى نهاية السدادة مع حلقة انضغاطيّة منفصلة. تضغط النهايات المتجاورة، الحلقةَ المذكورة وتدفعها في الفراغ الحلقي بين البطائن لتشكّل سدادةً محكمةً. لقد لحمت الوصلة الموضحة في الشكل (10-13 ب)، سدادات المطاط الصناعي المصنع من البولي أور إيثين، الموجودة في الكأس وعلى نهاية سدادة الكأس، ولوصل الأنابيب يتم تشحيم السدّادات ودفع السدّادة في كأس الأنبوب الذي قد تمّ تركيبه وذلك باستخدام قضيب رفع أو جاذب أنابيب. يتمّ وضع كتلة من الخشب في الكأس الذي يتمّ دفعه في مكانه لتفادي إتلافه. إضافة إلى أنبوب الكأس والسدادة، يتمّ صنع أنابيب ذات نهاية مسطحة بأقطار من .6 in إلى .18 in ذات سدادات من المطاط الصناعي المُصنّع من البولي أور إيثين مثبتةً على كلتا

النهايتين. يتم في المصنع تركيب أكمام أو ياقات من كلوريد البولي فينيل على إحدى نهايتي الأنبوب كأداة ربط. يتمّ تشحيم النهاية المستوية ودفعها في الكم وضغط سدادة البولي أور إيثين للوصول إلى إغلاقٍ محكم. تسمح كلّ الوصلات الانضغاطية هذه بانحراف محدود بدون أيّ تسرب. إن الانحراف المسموح به لكل قدم من طول الأنبوب هو $\frac{1}{2}$ in. للأنابيب التي تتراوح أقطارها ما بين 4 in. إلى 12 in. (42 mm/linear m) و$\frac{3}{8}$ in للأنابيب التي تتراوح أقطارها ما بين 15 . inإلى 24 in.، و$\frac{1}{4}$ in. للأنابيب التي تتراوح أقطارها ما بين 27 إلى 36 in.، و$\frac{3}{16}$ in. للأنابيب التي تتراوح أقطارها ما بين 39 in.، إلى 42 in..

إن الأنابيب البلاستيكية الأكثر استخداماً في أنظمة المجارير مصنوعة من البولي فينيل كلوريد (PVC) أو من البولي إيثيلين (PE). يتمّ إنتاج أنابيب (PVC) في فئتي قوة بأقطار تتراوح ما بين 4 in.، وإلى 12 in.، وقد قام بعض المصنعين مؤخراً بتصنيع أنابيب بأقطار 30 in.، طولها المعياري 20 ft مع توفّر أطوال أخرى. ولمقطع أنبوب الـــ PVC كأس عميقة كي تستوعب الوصل بلحام كيميائي. يتمّ نشر المذيب على كلٍّ من السطح الداخلي للكأس، وكذلك على النهاية المستوية قبل أن يُدفعا باتجاه بعضهما بعضاً. أما أنابيب PE فتُربط عبر تنعيم سطوح النهايات التي ستوصَل ببعضٍ بأداة مناسبة، ومن ثم ضغطهما باتجاه بعضهما بعضاً تحت ضغط مراقب. تُستخدم أنابيب الـــ PVC لوصلات الأبنية والمجارير المتفرعة، أما الاستخدام الشائع لأنبوب PE فهو في مدّ خطوط الأنابيب الطويلة، والتي تُمدّ غالباً في مناطق ذات ظروف سيئة، مثل المستنقعات والمعابر تحت الماء.

يمكن الحصول على أنبوب مجاري بيتوني بقياسات كثيرة ووصلات متعددة. ويعتمد اختيار نمط خاص من الأنابيب والوصلات على الاستخدام، والموقع وظروف التركيب. يتوفر الأنبوب البيتوني غير المسلح بأقطار تتراوح 4 in. إلى 24 in.، وبأطوال تتراوح ما بين 3 ft أو 4 ft. وهي تصنع بأطوال معيارية وبدرجات قوة إضافية. ويتم وصل نهايات الكأس والسدادة باستخدام حشوة حلقية مطاطية. تُنتج

أنابيب بيتونية مسلّحة حلقيّة بحجوم تتراوح أقطارُها ما بين 12 in. إلى 108 in.، وتتوفر في خمس فئات بناء على القوة. كما يتمّ صنع قنوات مسبقة الصبّ بأشكال إهليلجية وقوسية. ووصلات اللسان والأخدود هي الوصلات الشائعة في الأنابيب المسلحة، وتُستخدم مركبات صمغيّة أو حشوة مطاطية لتشكّل سدادةً محكمة الإغلاق.



شكل 13-10: أنبوب غضار مزجج ذو نهاية كأسيّة وسدادة متصلان بوصلات انضغاطية. (أ) بطائن ملتصقة في نهايات الكأس والسدادة ذات فراغ حلقي لضمان تشكّل حلقة مطاطية لإغلاق محكم. (ب) سدادات مطاط صناعي من البولي أورإيثين موجودة في الكأس وعلى سدادته، تنضغط عندما تدفعان باتجاه بعضهما لإغلاق محكم (بموافقة من: Logan Clay Products Company).

تُستخدم الأنابيب الكونكريتيّة بشكل واسع في أنظمة مياه العصف لمقاومتها للتآكل، ولتوفرها بأحجام كبيرة، ولمقاومتها العالية للكسر، ولكلفتها المنخفضة عموماً بالنسبة إلى الأنابيب المصنّعة من المواد الأخرى. ونظراً إلى كون البيتون مادةً قلويةً عرضةً لهجوم

الأحماض عليها، لا ينبغي أن تُستخدم في المجارير الصحية صغيرة الأحجام، حيث يمكن لإنتاج كبريتيد الهيدروجين أن يتسبب بتآكل داخلي. ولكن تُركّب أنابيب من البيتون المسلح لمجارير الاتصال التبادلي إذ يتجاوز قطرها قطر أحجام أنابيب الغضار المُزجّج المتوفرة. هنا ينبغي أن تكون التركيبات محمية من خلال مراقبة وضبط الحمضية ودرجة حرارة مياه الصرف وارتفاع محتواها من الكبريتات، وذلك بإضافة مواد كيميائية لضبط النمو الحيوي، والمحافظة على سرعات كشط، وتهوية مناسبة، وبتركيب بطانة للأنبوب إن كان ذلك ضرورياً. يمكن صبّ بطانة من الإيبوكسي أو البلاستيك ضمن الأنبوب البيتوني خلال تصنيعه، أو يمكن طلاء سطوح الأنبوب بعد تركيبه بأصماغ بيتومينية أو بـــ إيبوكسي من قطران الفحم.

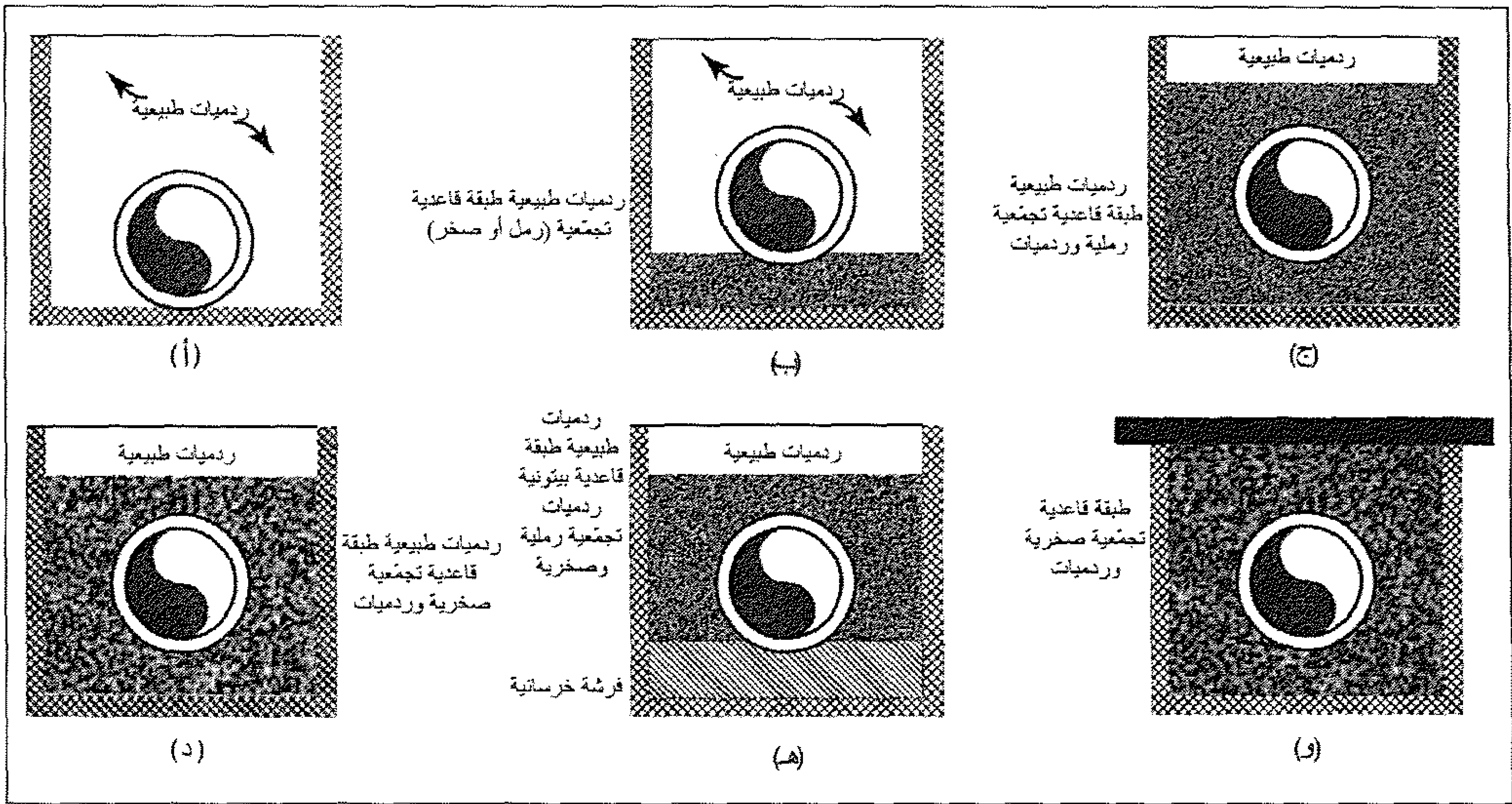
يستخدم أنبوب الحديد اللدن في الخطوط الرئيسة قوية التدفّق، والسيفونات المعكوسة، وضمن محطات الضخ ومحطات المعالجة، وعندما لا يمكن المحافظة على فصل آمن ما بين خطوط المياه الرئيسة، وكذلك عندما تكون ظروف أساسات المجرور سيئة. وهناك مواد أخرى في أنابيب الاستخدامات الخاصّة المُستخدمة في أنظمة جمع مياه الصرف، منها أنابيب الفولاذ المُموّج، والألياف البيتومينية، والأنابيب الراتنجية المسلحة.

5-10 الطبقة القاعدية والردم

تتباين الطبقة القاعدية والردم باختلاف ظروف التربة، ومادة الأنبوب، والظروف المحلية، وأحياناً مع عمق الدفن. ينبغي أن تكون مواد الطبقة القاعدية والردم قابلة لأن توضع في حالة مضغوطة تحت أو حول أو فوق الأنبوب. يظهر الشكل (10-14) مقاطع مختلفة للخندق، والطبقة القاعدية حسّاسة تجاه سلامة الأنبوب إذ إنه عندما يوضع في قاع خندق، فإنّه يوفر سطحاً مستوياً منضغطاً لتدعيم الأنبوب. وعندما تُمدّ الأنابيب بحيث تكون مواضع أطواق الأنابيب على المستوى الطبيعي لقاع الخندق، كما هو موضّح في الشكل (10-14أ) ، فقد لا يكون قادراً على تحمّل حمولات الركام الذي يعلوه أو حمولات سطح الأرض. وقد تهبط

التربة الطبيعية تحت الأنبوب، ما يتسبّب لوصلات الأنابيب أن تتباعد أو أن تخلق تحميلاً نقطياً عالياً الأمر الذي قد يصدّع الأنبوب متسبباً بتسربات. ولتأمين تدعيم متين للأنبوب، يُستخدم تطبق من مواد تجمعيّة تتكون من كِسارات صخريّة أو رمل جيد التدرّج الحبيّ (شكل 10-14). يتم وضع الطبقة القاعدية في الخندق وتُرصّ قبل تركيب الأنابيب. وفي بعض الحالات، تكون التربة التي تأتي تحته غير مناسبة حتى لتحَمّل الردم بمفرده. وفي هذه الحالات، قد يُستخدم البيتون لتدعيم الأنبوب ولتجسير المناطق التي تكون فيها التربة رديئة وضعيفة التحميل شكل (10-14هـ).

ينبغي أن تكون الردميات قابلةً للمدّ تحت الأنبوب في حالتها المتماسكة. والمواد الطبيعية التي تُستخدم عادةً كردميات هي مواد طمييّة رملية أو طمييّة قابلة للتراصّ بسرعة، كما هو مبين في الشكل (10-14 أ وب). إن معظمَ الترب الطبيعية لا تمتدّ بسهولة إذ تخلِّف مواداً سيئة التراص أو فراغات تحت الأنبوب. وبقليل من الجهد يمكن وضع ردميّات مكوّنة من موادٍ حُبيبيّة يسود فيها رمل جيد التدرج، وحصى أو صخوراً محطّمة كما هو مبين في الشكل (10-14 ج) ، وتحت الأنبوب وحوله في حالتها المتماسكة بدون أن تخلّف فراغات. يؤمن هذه النمط من الطبقة القاعدية والردم أقصى تدعيم متجانس للأنبوب. ويمكن تركيب شريط تحذيري وخطوط تقفّي، على الردميات التي تعلو الأنبوب لتحذير من سيقوم بالحفر مستقبلاً بوجود خط الأنابيب المطمور. وخطوط التقفّي شائعة على أنابيب الــ PVC، وهي تسمح بالتالي بتحديدٍ سهل لموقع الأنبوب. وبعد وضع الطبقة القاعدية فوق قمة الأنبوب، تُملأ بقية الأنبوب بالتربة الطبيعية والتي تُرصّ في أثناء وضعها. وعادةً يتمّ رص الردميات بنسبة 85% إلى 95% من التراصّ الأقصى للتربة. والمحتوى الرطوبي المثالي موضوع دقيق وحسّاس للوصول إلى التراصّ، وقد تحتاج الترب إما إلى تجفيفها أو إلى ترطيبها تبعاً لظروفها. ويُنصح في كثير من المناطق، بمد الردميات التجمّعية إلى مستوى الطرقات أو البنى لتفادي أيّ هبوط قد يحدث مع استخدام المواد الطبيعية فوق الأنبوب تحت الطريق شكل (10-14و)



شكل 10-14: أنماط شائعة للطبقة القاعدية في تركيبات أنابيب المجارير. (أ) تتكون الطبقة القاعدية درجة D، من تربة بحالتها الطبيعية يمد عليها الأنبوب ومن ردميات مواد طبيعية. لا توفرّ الطبقة القاعدية تدعيماً مناسباً إلا إذا كانت التربة رملية أو حصوية. (ب) تتكون الطبقة القاعدية درجة C، من رمل أو صخور محطمة توضع تحت أنبوب المجرور وتُرص قبل وضعه. (ج) تتكون الطبقة القاعدية درجة B، من رمل DO حتى مستوى الخط المركزيّ للأنبوب أو إلى أن يعلوه. (د) تتكون الطبقة القاعدية درجة CS، من ردميات صخور محطمة. (هـ) تتكون الطبقة القاعدية درجة A-1، من طبقة قاعدية قوامها سرير من البيتون يستخدم لتحسن تدعيم الأنبوب وتخفف من تأثير الترب الرديئة التي لا تستطيع أن تتحمل الطبقة القاعدية التجمّعية. (و) ردميات ممتدة حتى أسفل الرصيف لتجنب هبوط قد يصاحب الترب الطبيعية

قد تختلف مواد الطبقة القاعدية والردميات باختلاف الأنبوب الذي يتم تركيبه. فغالباً ما تُستخدم أنابيب من الغضار أو البيتون أو أنابيب فولاذية مغلفة بالبيتون من صخور محطّمة. وتصل الصخور المحطّمة إلى تراص تامّ بدون عمل كثير. ويتشابك الجزء حادّ الزوايا من هذه الصخور المحطّمة مع بعض ولا ينزلق تحت الحمولة. يمكن لأنابيب البولي إيثيلين، والحديد اللدن والفولاذ المدهون والـ PVC أن تُخدش وأن تُخترق بالصخور المحطمة، لذلك يفضّل استخدام الحصى البازلائية والرمل. ويتطلب استخدامُها حرصاً أعلى، ولكنها أيضاً تصل إلى تراص تام بدون عمل كثير. ويُستخدم الماء عادةً لمساعدة الرمل على الانتشار تحت الأنبوب، إنما لا يحبذ نفث الماء بقوة بشكل مباشر.

6-10 تركيب المجارير

يتطلب تركيب (Installation) المجارير معرفةً بالمتطلبات المناسبة للحفر، واحتياجات التركيب، ومتطلبات التراصّ. وتتطلب الاعتبارات متطلبات بيئية، وتدعيم، ونزح الماء، واختبارات حقلية للمواد التي تم تركيبها.

يُستخدم عادةً حفار آليّ تراجعيّ لحفر الخندق، إذ إنه يُستخدم أيضاً في الردم وفي رفع مقاطع الأنابيب. يمكن حفر خنادق بجدران شاقوليّة في الترب الغضارية القاسية، غير أن الجوانب المائلة غالباً ما تكون مطلوبةً إن كانت الترب أقل تماسكاً. وأيّ حفرة يتجاوز عمقها 5 أقدام تتطلّب تدعيماً، وتقويةً، وجدراناً مائلة، واحتياطات أخرى لحماية العمال من أخطار الانهيارات ومخاطر تركيب الأنابيب. لقد حدّدت وزارة العمل الأمريكية وإدارة الأمان والصحة المهنية (OSHA) وقوانين الولايات والقوانين المحلية برامج أمان ومتطلبات حفر الخنادق.

يجب أن تتحمل أنظمة تدعيم الحفريات ضغط الأرض، والضغط الهيدروستاتيكي الحبيس، وحمولة المنشأة، وحملات حركة السير، وذلك لمنع الانهيارات والسماح بتشييدٍ آمن حول البنى المجاورة. إن أكثر الطرق استخداماً في الحفريات، هي فتح خندق ذي جوانب مائلة، بالرغم من وجود عدد من العوامل يتوجّب اعتبارها عند تقييم ثبات جدران الحفرة، بما في ذلك سلوك التربة، والمياه الجوفية، وحركة السير، والتربة التي استخرجت من الحفرة، وقوى أخرى قريبة من الحفرة. وعبر العشرين سنة الماضية، أظهرت أدلة تجريبية على أن جدران الحفرة، إن كانت مائلةً بشكلٍ سليمٍ، فإنها تبقى ثابتةً وآمنةً، وتعتمد زاوية الميل على خواص التربة. تصنّف OSHA المواد كما تحدّد الميل الأقصى المسموح به للحفرية بترتيب يبدأ من "ثابت" إلى "أقل ثباتاً"، كما هو مبين في الجدول 2-2. والطريقة السريعة لتقدير ما إذا كانت التربة من النمط A أو C هي عصر مما مقداره ملء قبضة اليد من التربة مع الحذر من أن تكون مشبعةً بالماء. فإن انهارت فإن طبيعتها حُبيبية، أمّا إن كانت قابلة للتشكّل وتجزأت إلى قطعٍ عند تفتتها، فإنّها ذات خواصِ تماسك.

جدول 10-2: أنماط الترب والانحدارات لمطلوبة لحفر خندق مفتوح[2]

نمط التربة		قوة الإنضغاط		أفقي/أمثلة	الميل(*)	
		ton/sq ft	kPa		شاقولي (ft/ft)	زاوية
صخر	صخر ثابت			صخر غير مشقق	شاقولي	90
A	متماسك	> 1.5	>144	غضار، غضار غريّني، غضار رملي	1 :3/4	53
B	متماسك	> 0.5	>48	غريّن، طمي رملي غريّني، صخر غير مستقر جاف	1:1	45
C	حبيبي	<0.5	<48	حصى، رمل،رمل طميي	1 : 1 1/4	34

(*) مقتصرة على حفرية شاقوليّة كلية ارتفاعها 20 ft.

ويعطي مقياس الاختراق المحمول بالجيب قراءةً مباشرة لقياس قوة الانضغاط غير المحصورة. وعند إقحام المؤشر في التربة يقوم بعرض النتيجة إما بالـــ ton/ft^2 أو بالـــ kPa. يتراوح مجال الخطأ في مقياس الاختراق ما بين ± 20% إلى 40%، ولكنه يبقى مفيداً في تمييز أنماط الترب. إن أكثر الطرق دقّةً في تصنيف التربة يقوم على إرسال عينات إلى مختبر لتقويم التدرّج، واللدونة، وقوة الانضغاط غير المحصورة. يصف الشكل 15-10 تركيب مجرور في ترب غير مستقرة، إن لصناديق الخندق مزيّة إمكانية تحريكه على امتداد الخندق مع استخدام حفّار آليّ تراجعيٍّ لتركيب الأنبوب. يظهر الشكل 15-10 ترافق صندوق الخندق وحفر جانب مائل.

إن مقاطع الأنابيب ذات الأقطار .54 in هي أنابيب بيتون مسلّح مسبقة الصبّ بطول 12 ft. وعلى الجانب الأيمن العلويّ للصورة يظهر خط أنابيب متصل بآبارِ

نزح الماء موزعةً بتباعد محدّد على طول الخندق وذلك لخفض مستوى الماء إلى ما دون قاع الحفرة. يُستخدم حفار آليّ تراجعي لحفر الخندق أمام صندوق خندق من الفولاذ يتمّ في مدّ مقاطع الأنبوب. يتكون الدرع الفولاذيّ الذي ليس له قاع من جدران جانبيّة متصلة ببعضها البعض بمشابك بحيث تكون المسافة في ما بينها مساوية لعرض الخندق. والهدف من الصندوق هو تأمين سلامة مكان العمل لمدّ الأنبوب بدون الحاجة إلى نصب دعائم. وفي الصورة العليا يُشاهد مقطع أنبوب تمّ مدّه فعلاً في المكان المحمي بدرع الأمان، ومع تقدّم الحفر في الخندق يُستخدم الحفار الآلي التراجعي لسحب الصندوق إلى الأمام. يظهر الشكل (10-15ب) العمال وهم يسوّون الطبقة القاعدية على قاع الخندق بالرفوش اليدوية. وفي الصورة السفلية يتمّ إنزال مقطع أنبوب في الصندوق بواسطة رافعة. يضع العمال في الخندق الحشوة المطاطيّة على سدّادة الأنبوب ويوجّهون مقطع الأنبوب إلى موضعه لوصله بالأنبوب المطمور. تشابه الطبقة القاعدية الظاهرة مثيلتها الظاهرة في الشكل (10-14ج). يتمّ اختبار إحكام كل وصلة أنبوب فور وضعها باستخدام موسّع دائريٍّ خاصٍّ يقوم بالضغط على جدران الأنبوب على جانبيّ الوصلة، مشكلاً طوقاً يُملأ بهواء مضغوط بهدف اختبار التسرّب. يتم تأمين استقامة قطع الأنبوب بواسطة حزمة ليزر.

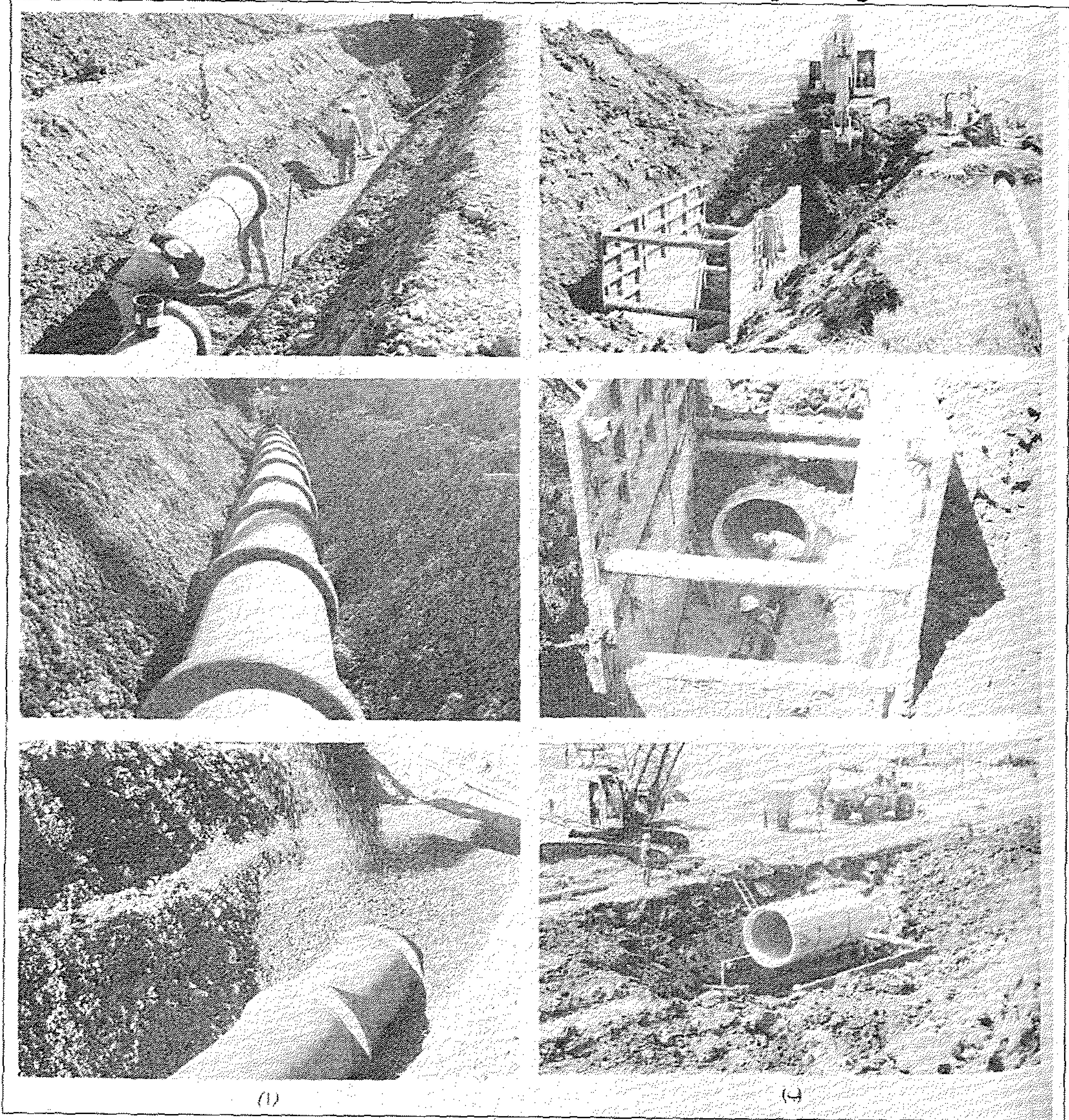
يُستخدم نظام الليزر لتوفير الاستقامة والميل في أثناء تركيب أنابيب المجارير. كما تُستخدم حزمة الليزر في توجيه حفرية الخندق إلى الانحدار المناسب. تُسقط وحدة الليزر المبيّنة في الشكل (10-16أ) شعاعاً بعرض ذؤابة قلم رصاص من الضوء الأحمر عبر فتحة الأنبوب إلى هدف الموضع المرجعيّ. وبعد تسوية تقريبية إلى ما يقارب ±5° باستخدام لوالب تسوية موجودة على ساق وحدة الليزر، تقوم الوحدة بتسوية نفسها أوتوماتيكياً وتحافظ على هذه الوضعية بمعزل عن تأثير العوامل البيئيّة الخارجيّة، كتغيرات درجة الحرارة والاهتزاز الناتجة من حركة الأرض أو عن معدات التراص. يتمّ بعد ذلك إدخال قيم الميل والاستقامة المطلوبة بلوحة تحكّم باللمس موجودة في مؤخرة الوحدة. وبعد تموضع كل أنبوب، يتمّ وضع دريئة بحيث يكون مركزها في نهاية الأنبوب للتحقّق من الميل

والاستقامة. تتم مركزة الدريئات أفقياً وتضبط شاقولياً للأنابيب مختلفة المقاسات. وبعد تركيب الأنبوب، توضع الدريئة في نهاية الأنبوب بحيث يمكن إزاحة الأنبوب إلى موضعه عبر جلب بقعة الليزر إلى مركز الدريئة. كما يمكن لليزر مثبتٍ على سارية شاقوليّة مدرجة أن يوضع بجانب الأنبوب مدعماً ببلاطة أو أن يوضع ضمن أنبوب كبير القطر على قضيب له شكل حرف T (الأشكال 10-16 ج، د). لا يمكن رسم حزمة أشعة الليزر عبر أنبوب مُدًّ متتبعاً انحناء الشارع، وكذلك إذا كان انعراج الأشعة ناتجاً من وجود أبخرة أو من تطبق حراريٍّ للهواء ضمن الأنبوب. وبدلاً من ذلك يتمّ تركيب الليزر على حامل ويوجّه نحو دريئةٍ مثبّتةٍ على قضيبٍ مدرّجٍ على قدمٍ مثبّتة بشكل مقلوب عند نهاية كل أنبوب للمحافظة على الميل المناسب. يمكن استخدام أداة تحكّم عن بعد (ظاهرة في أسفل الشكل 10-16 ج) لحرف استقامة حزمة أشعة الليزر لكل طول أنبوب إلى الزاوية الصحيحة للوصول إلى الانحناء الصحيح لخط الأنابيب.

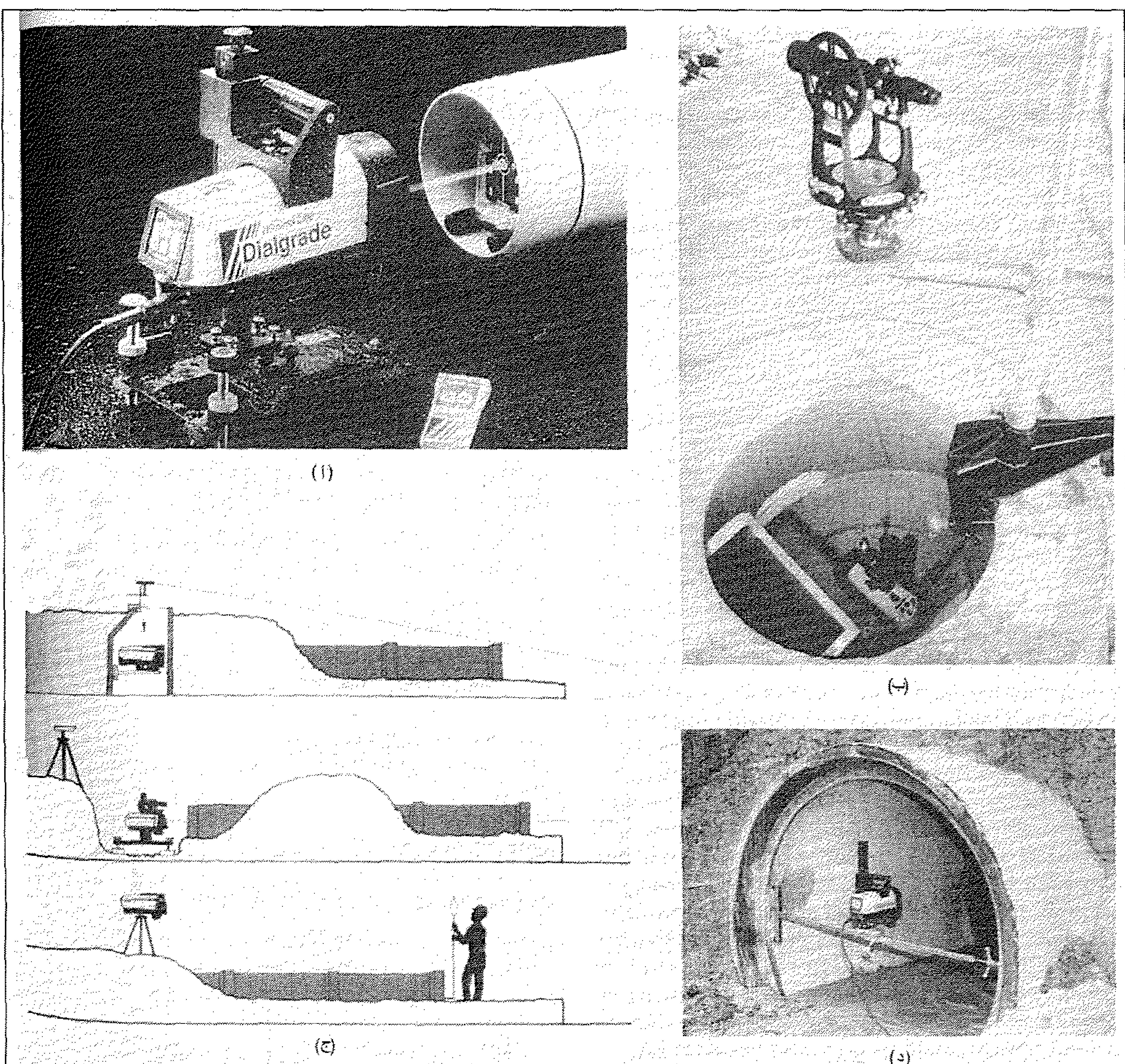
إن نزح الماء ضروريٌّ للحؤول دون دخول مياه فائضة إلى الخندق والتسبب باضطراب طبقة القاعدة وإضعاف جدران الخندق. وفي بعض الحالات يمكن حفر جيب لوضع مضخة في نهاية الخندق لنزح المياه الجوفية. وأنّى كان منسوب المياه الجوفية عالياً، تُركّب آبار ضحلة لخفض منسوب الماء إلى ما دون الحفرة، يتطلب الأمر ترخيصاً لطرح الماء بدون الإضرار بالممتلكات المجاورة أو تلويث المجاري المائية أو خنادق صرف الماء. وقبل الطّرح، قد يتطلب الأمر ترشيحاً لإزالة الرمل والطميّ من الماء.

ولتخفيف هجرة الماء عبر المواد المسامية للخندق على امتداد خط الأنابيب، يتم وضع حواجز ارتشاح أو ما يسمى جدران عزل بفواصل 1000 ft على امتداد خط الأنابيب. تمتد الحواجز لمسافة قدم على الأقلّ ما بعد مواد الردميات ضمن التربة الطبيعية. تُطبّق الاعتبارات البيئية على الحفريات المنفذة في مناطق حساسة بيئياً، وعلى حماية المواد المخترجة، وكذلك على ضبط الجريان السطحي. وقد تجعل المحدّدات البيئية أعمال الحفر تقتصر على فصول محدّدة من السنة بحيث لا يكون

لأعمال الحفر تأثير على بعض أنواع الكائنات الحية الحساسة. يتضمن التركيب في موسم المطر تغطية مواد الحفريات بأغطية بلاستيكيّة أو بنثر مواد من القش أو التبن لمسك التربة ومنع الطميّ والتربة من الانجراف إلى الممرات المائية الداخلية.



شكل **15-10**: تركيب مجارير صحية باستخدام أنابيب الغضار المزجّج والأنابيب الباطونية. (أ) جدران الخندق الجانبية مائلة وذات مصطبة من أجل حفر آمن. الأنبوب الذي يتمّ تركيبه على طبقة قاعديّة من صخور محطّمة. سيستخدم ردم طبيعي فوق الصخر لإعادة الخندق مرة أخرى إلى مستوى الأرض. (ب) حفّار آليّ تراجعي يحفر أمام درع أمان أو صندوق خندق، يتمّ إنزال مقاطع الأنبوب ضمنه، العمال يقومون بتسوية طبقة الرمل القاعدية على قاع الحفرة. (موافقة الصور من: **Gladding McBean Company, a division of Pabco building productsm L.L.C**)



شكل 10-16: نظام ليزر لتركيب أنبوب مجارير[3]. (أ) تسقط وحدة الليزر شعاعاً من الضوء الأحمر عبر الأنبوب إلى دريئة ذات مزولة لتثبيت الميل المرغوب للمجرور. (ب) يستخدم جهاز نقل مركب على وحدة الليزر في إحدى الفتحات، لوضع حزمة الليزر في الاستقامة المطلوبة. (ج) يمكن وضع الليزر في فتحة، أو على منصة للرسم عبر الأنبوب، أو على حامل للرسم فوق الأنبوب. (د) وحدة ليزر على قضيب له شكل حرف T في مجرور كبير لمياه العواصف (موافقة من Courtesy of Spectra-Physics Laserplare, Inc.)

اختبارات التراص والمعدات

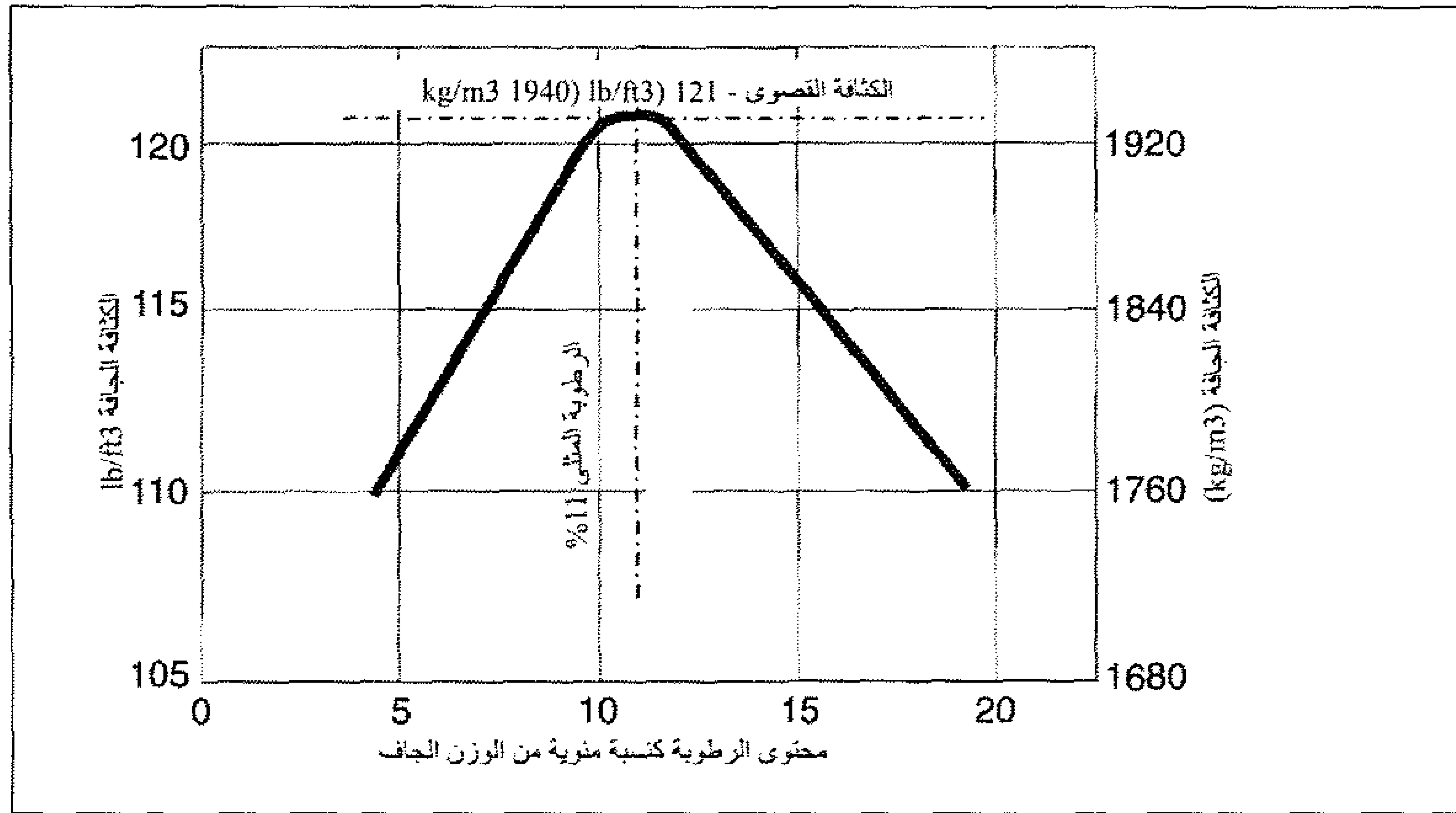
إن مواد الطبقة المبطِّنة والردميات مكونة من ترب خشنة وسهلة التراص تحتوي على صخورٍ محطمة، وحصى ورمل. وعلى النقيض، تُصنّف الترب الطبيعية بأنها متماسكة وتتكون من امتزاج السلت والغضار ليشكلا بوجود الماء، عجينةً قد تكون لدنة أو لزجة. يتباين تراصّ الترب الغضارية الطميّية تبعاً لمحتواها الرطوبي، فإن

كان منخفضاً، فإنّه لن يكون مناسباً للتراصّ، أما إن كان عالياً فسوف تتشكّل جيوب ممتلئة بالماء ستضعف عند تطبيق حمولة عليها. وتكون الكثافة بحدّها الأقصى (تراصّ أقصى) لدى محتوى نموذجي من الماء لتربة محدّدة. إن اختبارات المواد المتماسكة الموضوعة في الحفرة ضروري للتحقّق من تراصها وللحدّ من هبوط التربة مستقبلاً.

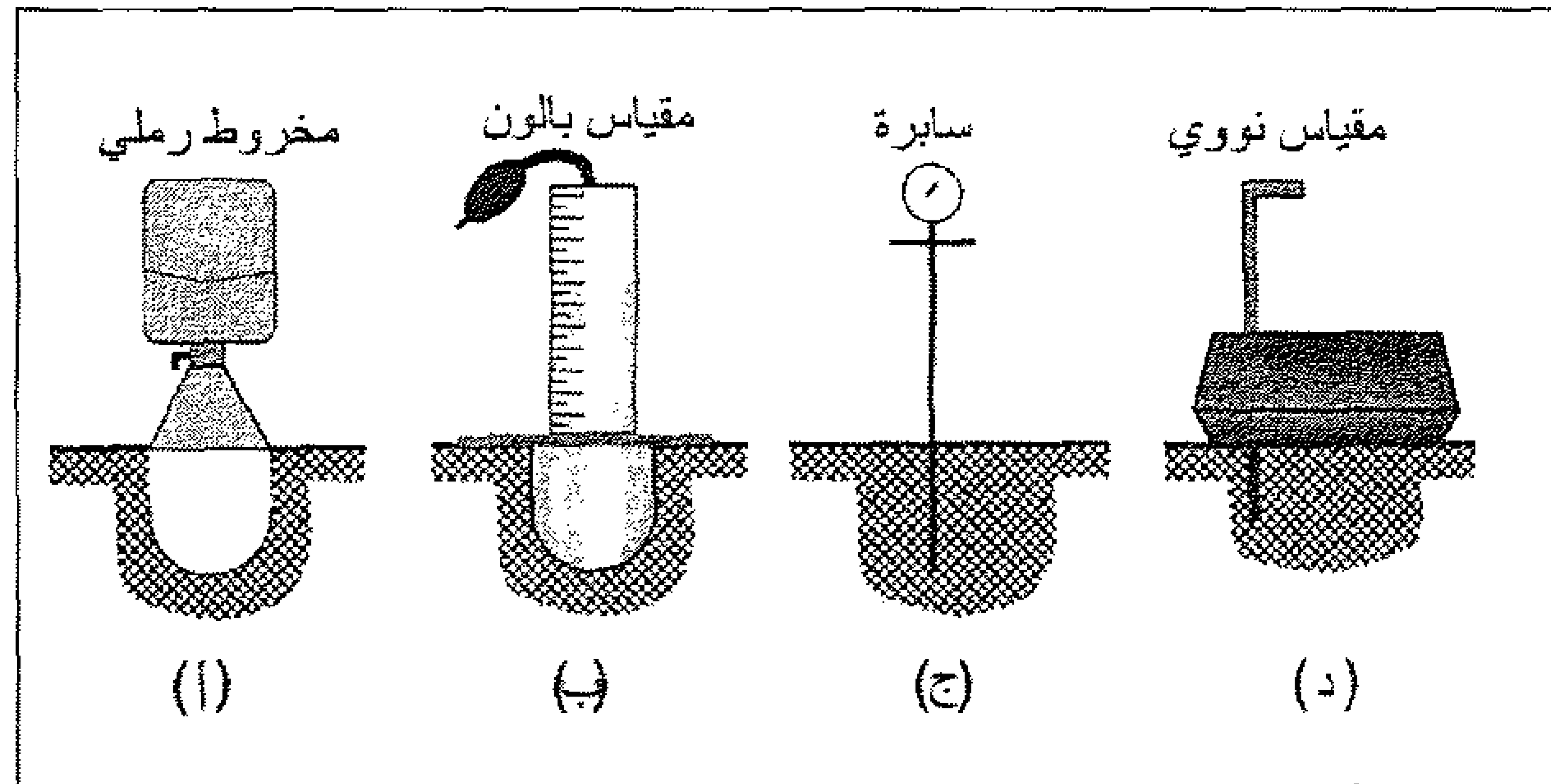
تستخدم الفحوص المخبرية لتقدير المحتوى الرطوبي المثالي والكثافة القصوى لتربة محدّدة. بينما تُستخدم القياسات الحقلية لتقييم فاعلية استخدام المقاول لمعدّات التراص. ويعتبر اختبار ASTM D1557 أكثر الاختبارات انتشاراً، ويعرف باختبار المُراقب المُعدّل. يقدّر هذا الاختبار الكثافة القصوى للتربة وتأثيرات الرطوبة في كثافة التربة. ويُنجز بتجفيف عينة التربة بالفرن ثم إضافة الماء للوصول إلى محتوىً رطوبيٍّ معروف، كنسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة. يتمّ من ثم رصّ التربة الرطبة في خمس طبقات باستخدام مطرقة وزنها 0-lb1، وضرب كلّ طبقة 25 ضربة بالمطرقة. توزَن التربة المتراصّة وتُجفّف لتقدير المحتوى الرطوبي النهائي. تُكرّر العملية بعد تغيير المحتوى الرطوبي. تُعرض النتائج في مخطط بيانيٍّ، كما هو مبين في الشكل 10–17. تُظهر البيانات أن الكثافة الجافة القصوى لهذه العينة تبلغ 12 lb/cu ft لدى محتوى رطوبي مثالي يبلغ 11%.

ويطلب المهندسون عادةً من المقاولين رصّ التربة الموجودة في الخندق بنسبة 95% من الكثافة القصوى عندما تُستخدم كردميات حول الأنبوب و85% من الكثافة القصوى كردميات فوق الأنبوب في المناطق المفتوحة، و90% فوق الأنبوب وتحت الطرقات والبنى. تحدّ متطلبات التراصّ العالي من التراصّ التفاضليّ فوق الخندق بالنسبة إلى الترب المحيطة. يظهر الشكل (10-18) المعدات الأربع المُستخدمة لاختبار الكثافة حقلياً. يُستخدم مخروط الرمل ومقياس الكثافة بالبالون (شكل 10-18 أ وب) عبر حفر حفرةٍ صغيرة في التربة المتراصّة. يُقدّر حجم الحفرة عبر ملئها بكمية مُقاسة من الرمل الجاف أو بسائل موضوع في بالون لتقدير الحجم الدقيق. توزَن التربة المُزالة وتُجفّف وتوزَن مرةً أخرى لتقدير الوزن والنسبة المئوية للرطوبة. يتمّ حساب كثافة التربة عبر تقسيم الوزن الجاف للتربة المتراصة بـ lb على حجم الحفرة بـ cu ft. يتمّ بعد ذلك مقارنة

القياسات الحقلية بنتائج اختبار المُراقب المُعدّل المُجرى في المختبر، وحساب النسبة المئوية للكثافة القصوى أو الكثافة النسبية للتربة المتراصة.



شكل 10-17: محتوى الرطوبة كنسبة مئويّة من الوزن الجاف نتائج اختبار المراقب المعدل على تربة متماسكة في مختبر. تمَ ترطيب التربة وتجفيفها بشكل متكرّر لتقدير العلاقة ما بين الكثافة والمحتوى الرطوبي. تُستخدم النتائج في تقدير الكثافة القصوى والمحتوى الرطوبي المثالي



شكل 10-18: أدوات القياس الحقلي لتراص التربة

مثال 10-2

يظهر الشكل 10-17 نتائج اختبار المُراقب المُعدّل، لقد أُجري اختباران حقليان على امتداد الخندق باستخدام مخروط رمل. العينة # 1: حجم الرمل .170 cu in، وقد قدّرت الفحوص المخبريّة الوزن الرطب بـ 11.8 lb، ووزن التربة الجافة بـ 11.0 lb. أما العينة # 2 فكان حجمها .156 cu in، وكان وزنها الرطب 10.23 lb،

ووزنها الجاف 9.25 lb. احسب حجم ردميات المقاول إن كان التراصّ يتوافق مع متطلبات المهندس لنسبة التراص البالغة 90%. هل قدّم المقاول تراصاً مناسباً؟

الحل

العينة # 1:

الكثافة الجافة للمواد المتراصة =

11.0 lb /lb/cu in. 111.8= (170/1728)

النسبة المئوية للكثافة القصوى =

111.8/121 . 100 = 92% > 90%

تفي الفحوص المخبريّة بمتطلبات المهندس المتعلقة بالتراص.

تبلغ الرطوبة (7.3% = 100 – 11.0/(11.8-11)) وهي ليست برطوبة مثالية، ولن تحسّن أعمال التراص الإضافية من التراص لدى هذا المحتوى الرطوبي.

العينة # 2:

الكثافة الجافة للمواد المتراصة =

9.25 lb /lb/cu in. 102.5= (156/1728)

النسبة المئوية للكثافة القصوى =

121/102.5 . 100 = 85% > 90%

لا تفي الفحوص المخبريّة بمتطلبات المهندس المتعلقة بالتراص.

تبلغ الرطوبة (11% = 100 – 9.25/(10.26-9.25)) الرطوبة مثالية، وأعمال التراص غير مناسبة ويتطلب الأمر أعمالاً إضافية لزيادة الكثافة.

يتم إقحام سابرة التراص ذات المزولة المبينة في الشكل (10-19ج) حتى عمق 36 in. إلى 48 in. في التربة (1 m إلى 1.3 m). تظهر مقاومة الاختراق على المِزولَة مع تحرّك القضيب نحو الأسفل في التربة تحت تأثير ضغط ثابت ومتساو. ينبغي اعتبار قياس كثافة التربة الناتجة تقريبية. ومقياس الكثافة النووي الموصوف في الشكل (10–18 د)، هو مقياس يعطي قراءةً مباشرةً ويقدّر الكثافة باستخدام مصدر نظير نشيط إشعاعياً وكاشف. يتمّ امتزاز الفوتونات الصادرة عن

النظير بشكل أكبر في الترب الكثيفة منه في الترب المفككة. كما يقوم المقياس بتقدير المحتوى الرطوبي في التربة. تُستخدم قيم الكثافة للمقارنة بقيم اختبار المُراقب المُعدّل لحساب الكثافة النسبية.

يتم وضع الطبقة المبطِّنة والردميات في طبقات أو مجموعات تصل إلى 12 in. في الثخانة وتُرصّ باستخدام الأداة الظاهرة في الشكل 10-19. إن حصر عمق طبقة الردميات يضمن تراصّاً تامّاً عبر البروفيل الشاقولي للخندق. تتضمّن معدّات التراصّ صفائحاً اهتزازيةً صُمّمت لدمج المواد الحُبيبية، والرجّاجات (التي تسمى أيضاً قدم الخروف)، والمداحل، والإطارات الملحقة بالحفار الآلي التراجعي لدمج المواد المتماسكة. وللصفائح الرجّاجة، كما تبدو في (الشكل 10-19أ)، وزنان متحدا المركزين يُزودان بالطاقة بواسطة محرّك، للتوصل إلى قوة اهتزاز عالية السرعة. تُستخدم الصفائح الرجّاجة في الترب الحُبيبية كالطبقة المبطِّنة والردميات. ولا يوصى باستخدام الصفائح الرجّاجة في الترب الطبيعية المتماسكة. أما الرجّاجات (الشكل 19-10ب) فتحقق التراصّ بواسطة محرّك صغير يشغّل مكبساً كبيراً محمولاً بين نابضين. يدفع الانحناء نحو الأمام بالآلة إلى الأمام في أثناء قفزها. والرجّاجات مناسبة وجيّدة في الخنادق الضيقة ذات الترب الطبيعية المتماسكة. تُشغّل بعض المداحل التي تُدار بمحرّك (شكل 10-19ج) بواسطة سلك من لوحة تحكّم مثبتة. يتسبب وزن الآلة والاهتزاز الناتج من المحرّك بتماسك التربة. وتُستخدم المداحل التي تُمتطى وتُقاد (شكل 10-19 د) في مناطق شاسعة تسود فيها تربٌ متماسكة، وفي مناطق واسعة حُبيبياتها متماسكة. لقد صُمّمت مجموعة واسعة من مثل هذه المداحل لتُلحق بالحفار الآلي التراجعي حيث تتدحرج فوق ردميات الخندق، وتتوفر ملحقات متنوعة كتلك التي تظهر في الشكل (10-19و)، لكلٍ من الحفّار الآلي التراجعي وكذلك للحفارات الآلية. يستخدم كل من وزن المدحلة إضافة إلى تأثيرها في دمج الترب.

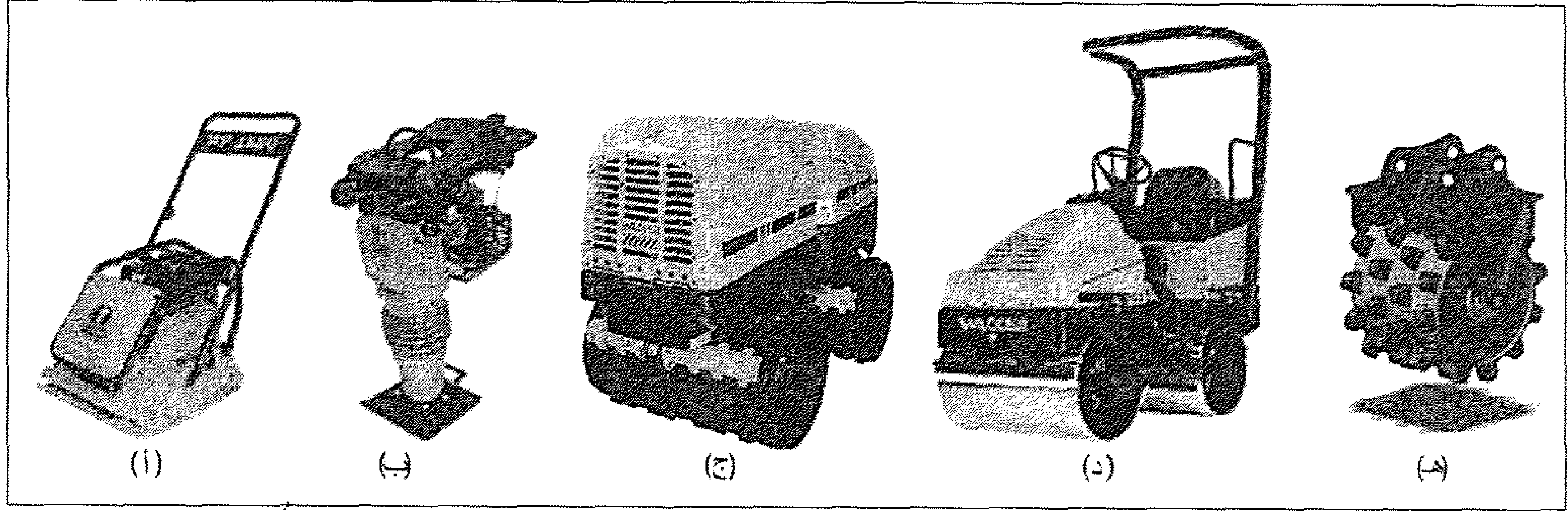
10-7 اختبار المجرور

تُختبر المجارير الجديدة من حيث عزلها للمياه، عبر مراقبة الرشح للداخل، وقياس الارتشاح للخارج عندما يكون الأنبوب مملوءاً بالماء، وكذلك اختبار الهواء.

يستخدم اختبار الارتشاح للخارج بصورةٍ أساسية في المناطق الجافة حيث يكون منسوب المياه الجوفية دون قمة الأنبوب. وتعتبر طريقة ملء الأنبوب بالماء ومراقبة فقد الماء خلال زمنٍ محدّد طريقةً إيجابية، نظراً إلى أنها تعرض المجرور والفتحات إلى ضغط مياه معروف. يمكن للضغط الفائض أن يكون ذا نتائج مدمّرة في الجزء السفلي من المجرور، لكن اختبار المقاطع ما بين الفتحات ذو مخاطر أقل. يكون عادةً العلوّ الهيدروستاتيكي الأقصى المطبق .10 in، ويسمح للماء بالبقاء فيه قرابة 24 hr قبل قياس الارتشاح للخارج. الأمر الذي يسمح للأنبوب ولمواد الوصلات أن تُشبع بالماء، وتسمح بالتالي بإزالة الهواء المحتبس. يتباين الارتشاح للخارج المسموح بهما بين 100 إلى 500 gal/in. of dia/mile/day.

جدول 3-10: تحويل معدّلات الرشح للداخل أو الارتشاح للخارج من gal/in. of dia/mile/day إلى gal/hr/100 ft لمختلف أحجام أنابيب المجارير

	معدلات الانسياب gal/hr/100 ft للمعدلات الآتية المقدرة بـــ .gal/in Dia/Mile/day				
القطر (in)	100	200	300	400	500
8	0.63	1.3	1.9	2.4	3.2
10	0.79	1.6	2.4	3.2	4.0
12	0.95	1.9	2.8	3.8	4.7
15	1.2	2.4	3.5	4.7	5.9
18	1.4	2.8	4.3	5.7	7.1
21	1.7	3.3	5.0	6.6	8.3
24	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5
27	2.1	4.3	6.4	8.5	10.7
30	2.4	4.7	7.1	9.5	11.8
36	2.8	5.7	8.5	11.4	14.2
42	3.3	6.6	10.0	13.3	16.6
48	3.8	7.6	11.4	15.2	19.0

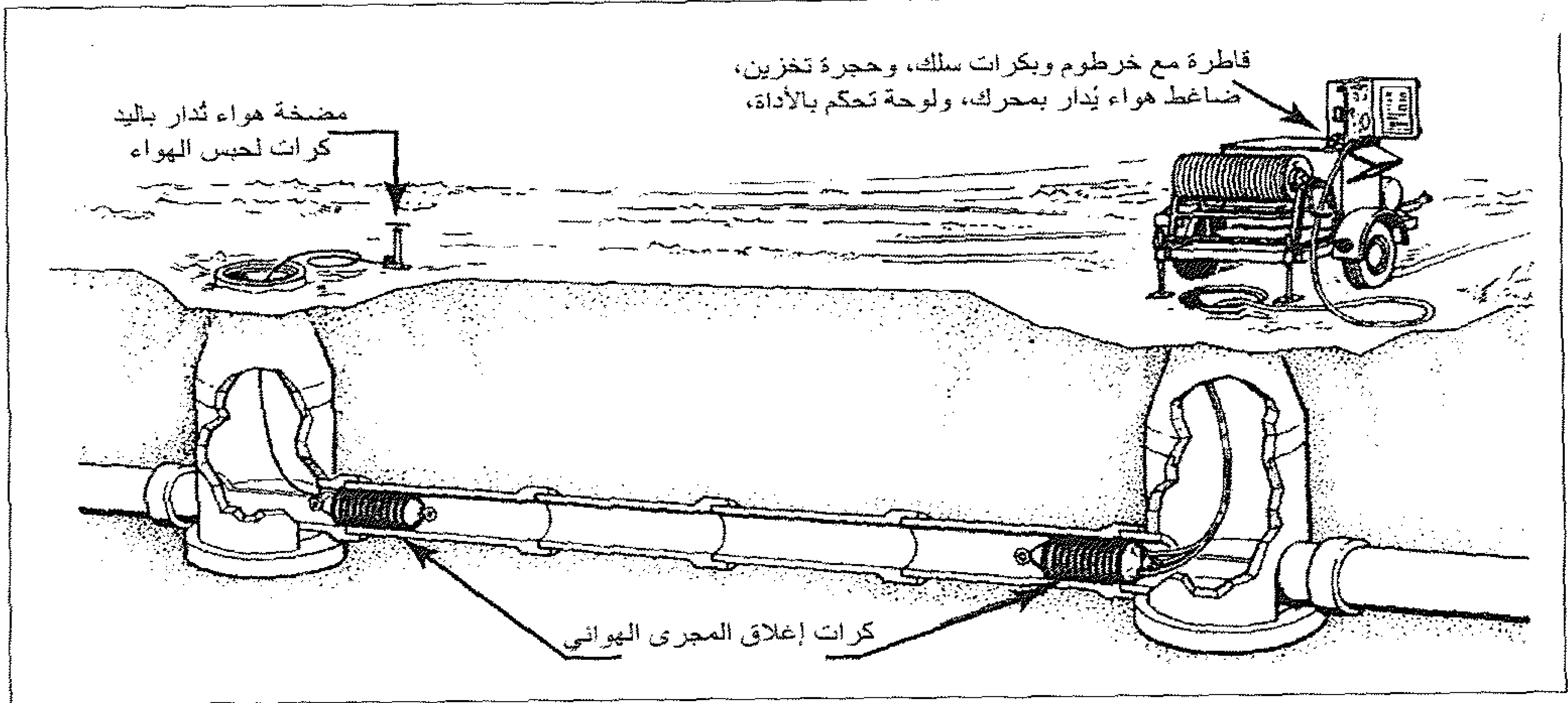


شكل 10-19: أدوات مستخدمة في دمج مواد الخندق. (أ) صفيحة اهتزازية لرص التربة تستخدم لدمج الطبقة المبطِّنة للأنبوب والمواد الحُبيبية. (ب) رجّاج اهتزازي أو قدم الخروف يستخدم لدمج مناطق صغيرة في خنادق ضيقة وبين الأنابيب وجدران الخندق. (ج) مدحلة خندق تشغَّل بواسطة عصا تحكّم متصل بالمدحلة بواسطة سلك. (د) مدحلة تُمتطى وتُقاد تُستخدم في الخنادق الكبيرة. (هـ) مدحلة ملحقة بحفّار آليّ تراجعي، في موقع دلو الحفار، كي يتمّ دحرجتها على خندق الأنبوب. (موافقة صور المعدات من **Wacker Corporation**)

وعلى الرغم من أنه لا يمكن مقارنة تسرب الهواء بتسرب الماء، إلا أن اختبار الهواء لا يثبّت السلامة البنيوية لخط المجارير. إن مجروراً مشاداً بشكل جيد سوّي يبدي شيئاً من فقد ضغط الهواء حتى ولو كان مُحكم العزل، لكن سيحدث فقد هواء معتبر عبر مجرور تالف أو وصلة معطوبة، ولتخفيف مرور الهواء عبر الجدران، يتمّ ترطيب السطوح الداخلية لخط المجارير قبل إجراء اختبار الهواء.

وللقيام باختبار الهواء يتمّ عزل المقطع الموجود ما بين الفتحات كما هو ظاهر في الشكل 10-20 وذلك عبر سد كلتا نهايتي الأنبوب وتغطية أيّ وصلات خدمة بإحكام. يتم تطبيق ضغط هواء، ثم يُرفع حتى يصل إلى 4.0 Psi والإبقاء عليه لمدة 2 min إلى 5 min، بينما يتمّ فحص كلّ السدادات منعاً للتسرب، مع تثبيت درجة حرارة الهواء. يُقطع من ثم إمداد الهواء ويُقاس الزمن اللازم لهبوط الضغط من 3.5 Psi إلى 2.5 Psi بواسطة ساعة ميقاتيّة. فإن لم يحدث هبوط 1.0 Psi خلال زمن الاختبار المحسوب، يكون خط المجارير قد اجتاز الاختبار، أما إذا هبط أكثر من 1.0 Psi خلال زمن الاختبار المحسوب فإن خط المجارير يكون قد فشل في اجتياز الاختبار. يظهر الجدول 10-4 أزمنة القياس المطلوبة لكل 100 ft من خط المجارير مكوّن من أنابيب متفاوتة الأقطار. فإن تضمن مقطع خط الأنابيب المختبر أكثر من حجم واحد للأنابيب، يتمّ عندها حساب زمن الاختبار لكل قطر، ومجموع هذه الأزمنة هو زمن

اختبار المقطع. يتم اختبار الفتحات باستخدام اختبار إخلاء الهواء وذلك بعد الانتهاء من اختبار الأنبوب. يتمّ عزل الفتحات المراد اختبارها عن خطوط المجارير بتركيب سدادات لا يقلّ قطرها عن .in 8 في خطوط المجارير، ينبغي ان تكون السدادات مرفوعةً بعيداً عن حشوة الفتحة – الأنبوب تجنباً للتداخل مع الرشح الداخل للأنبوب. وتعتبر الفتحة قد اجتازت الاختبار، إذا تطابق الزمن الذي هبطت فيه قراءات إخلاء الهواء من 10 in. Hg إلى in. Hg9، مع القيم المشار إليها في الجدول 10-5 أو زاد عنها. وإذا فشلت الفتحة في الاختبار فقد يتم إصلاحها بواسطة طلاء غير قابل للانكماش أو بأيّ مواد سادّة مناسبة.



شكل 10-20: اختبار ضغط الهواء المنخفض لتقدير السلامة البنيوية لخط أنابيب ممدود حديثاً.

جدول 10-4: الأزمنة الدنيا للاختبار لكل 100 ft من خط المجارير من أجل اختبار هواء الضغط المنخفض[5]

زمن الاختبار (min)	قطر الأنبوب (in.)	زمن الاختبار (min)	قطر الأنبوب (in.)
3.0	21		
3.6	24	0.3	4
4.2	27	0.4	6
4.8	30	1.2	8
5.4	33	1.5	10
6.0	36	1.8	12

6.6	39	2.1	15
7.3	42	2.4	18

(اختبار هواء ضغط منخفض ASTM C828-06 لخطوط أنبوب غضار مزجج، ASTM International. أعيد طبعها بموافقة الجهة السابقة ذكرها).

مثال 10-3

اختبر مجرور طوله 400 ft وقطره 8 in. من الغضار المزجّج بواسطة الهواء للتحقّق من السلامة البنيوية. بلغ الزمن المقاس لهبوط الضغط من 3.5 Psi إلى 2.5 Psi، 6.5 min. هل اجتاز خط المجارير اختبار ضغط الهواء المنخفض هذا؟

الحل

من الجدول 10-4 الزمن الأدنى للاختبار لكل 100 ft لأنبوب 8 in. هو 1.2 min، لذلك فإنّ

$$\text{زمن الاختبار} = \frac{400\,\text{ft} \times 1.2\,\text{min}}{100\,\text{ft}} = 4.8\ \text{min}$$

إن الزمن المقاس البالغ 6.5 min أكبر منه، وبالتالي اجتاز خط المجاري الاختبار.

جدول 10-5: الأزمنة الدنيا لاختبار أعماق وأقطار مختلفة للفتحات

	قطر (in.)				
	48	54	60	66	72
العمق (ft)	الزمن (sec)				
8	20	23	26	29	33
10	25	29	33	36	41
12	30	35	39	43	49
14	35	41	46	51	57
16	40	46	52	58	67
18	45	52	59	65	73
20	50	53	65	72	81
22	55	64	72	79	89

97	87	78	64	59	24
105	94	85	75	64	26
113	101	91	81	69	28
121	108	98	87	74	30

(طريقة اختبار معيارية لفتحات المجارير البيتونيّة بواسطة اختبار الضغط السلبي للهواء قبل الردم (إخلاء الهواء، ASTM International© أعيد طبعه بموافقة).

8-10 محطات رفع في جمع مياه الصرف

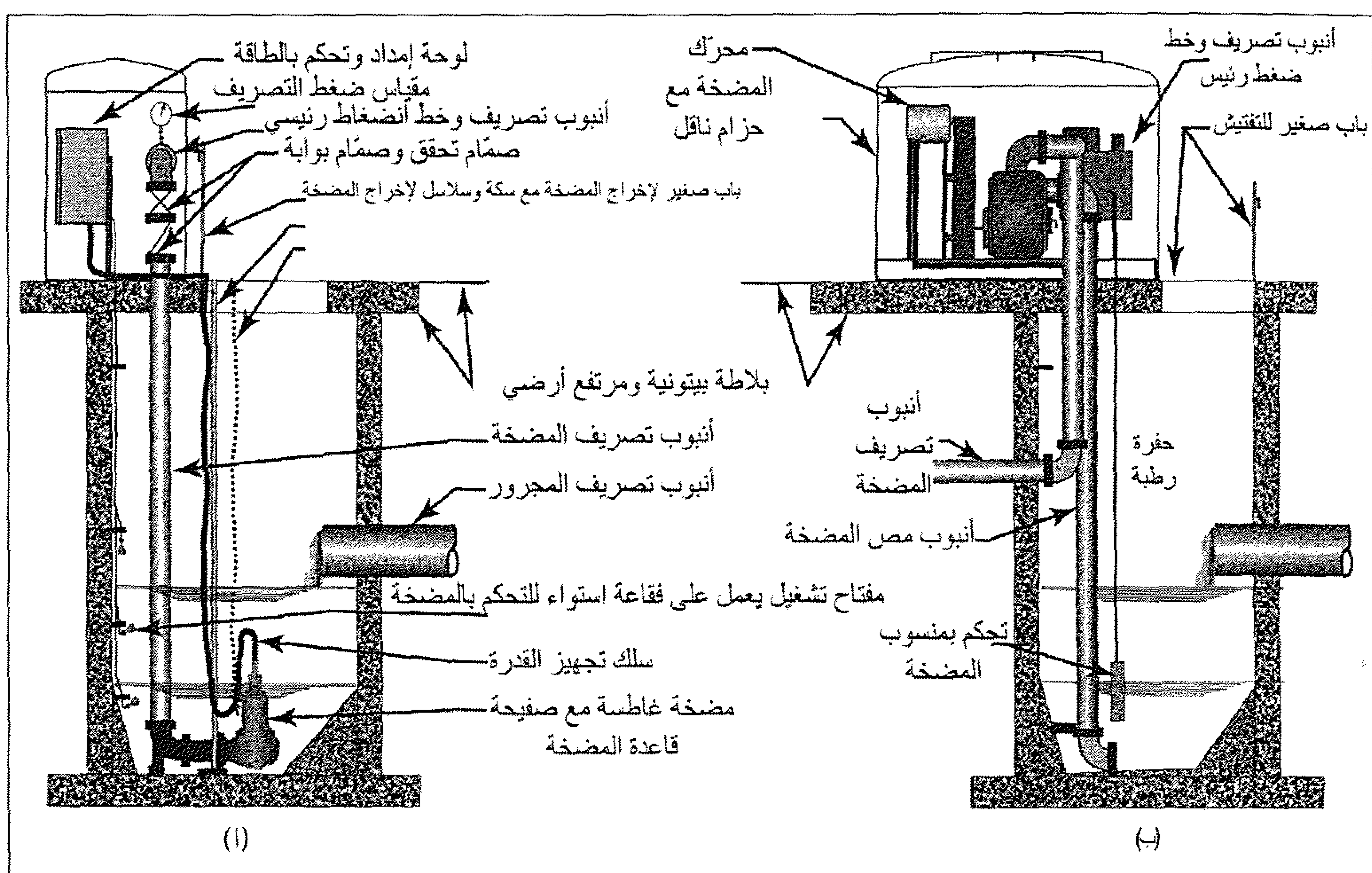
يتطلب الأمر محطات رفع، وذلك لرفع ونقل مياه الصرف في أنظمة الجمع، إن لم يعد استمرار الانسياب الثقالي ممكناً من الناحية العملية. وفي الأراضي المنبسطة يمكن للمجاري أن يزداد عمقها في طريقها إلى محطة المعالجة، إلى حد يغدو معه الاستمرار في الانسياب الثقالي غير ممكن. هنا يمكن تركيب محطة ضخ لرفع مياه الصرف إلى مجرور معترض على ارتفاع عال، أو أن تقوم المضخة بطرح التصريف إلى خط مضغوط ينقل مياه الصرف الموجودة تحت الضغط إلى محطة المعالجة. قد تجد قطع الأراضي المقسمة حديثاً تمهيداً لبيعها أو المقاسم الصناعية والواقعة على حافة نظام مجاري قائم، أن الأنبوب ضحل جداً بحيث لا يمكنه استقبال وصلات المجرور القادمة من مستوى قبو البناء. وفي هذه الحالة يمكن لمضخة رفعٍ صغيرة أن تضخ مياه الصرف من منطقة المجرور الرئيس.

إن إشادة محطات الضخ أمر مكلف، وتتطلب تفتيشاً وصيانة دوريين وتؤدي إلى تشنّج في الرأي العام إذا تعطلت عن العمل وسمحت بتجمع مياه الصرف في المناطق السكنية والصناعية ما قد يتسبّب بفيضان مياه الصرف. ولهذه الأسباب، يتمّ تجنبها أنّى أمكن وذلك عبر دمج تخطيط المجارير، وموقع محطة المعالجة مع تمنطق استخدام الأراضي والتخطيط الشامل للمدينة. تتوفر تجارياً مضخات نافورية لضخ انسيابات لا تتجاوز 100 gpm، ومثال ذلك مياه صرف عدد من البيوت أو بناء تجاري. وتتمتع هذه المضخات بمزيّة هامة تتمثّل بقدرتها على التعامل مع مياه صرف محلية غير مغربلة بدون أن تتسبب بانسدادات. (بالرغم من أنه يمكن توظيف مضخات منخفضة

الاستطاعة، إلا أن أصغر مضخة نابذة مُصمّمة لتمرير مواد صلبة في أنبوب 3 in. والعمل بلا انسداد بشكل معقول، ذات معدّل سعة أكبر من 100 gpm).

تُستخدم عادة محطات ضخ الحفرة الرطبة باستطاعة أكبر من 100 gpm، ومضخات نابذة غير قابلة للانسداد في الحفرة الرطبة أو عليها (انظر الشكل 10-21). تخفّف المضخات الغوّاصة والمضخات ذاتية الإقلاع من كلفة التركيب من خلال تخفيف الكلفة المُضافة لحفرة رطبة وحفرة جافة. يوجد محرّك المضخات الغواصة (شكل 10-21 أ) في صندوق عازل للمياه مرتبط بالمضخة. تُحمل المضخة بواسطة صفيحة قاعدة المضخة الموجودة على قاع الحفرة الرطبة. تُستخدم سكك وسلاسل رفع لإخراج المضخة لفحصها وصيانتها. وتُقلع المضخة وتتوقّف باستخدام مفاتيح زئبقية مُحتواة ضمن علبة لها شكل دمعة عين. تنقلب الوحدة للأعلى عندما تُغمر بالماء وتُشغّل المفتاح. تُزوّد بعض الوحدات بفقاعات هواء لمراقبة منسوب الماء باستمرار. إن صمّام التحقّق من التصريف وصمّام البوابة المعزولة مركّبان على الأرض أو في سرداب منفصل تحت الأرض. يمكن للمضخات أن تُركّب في حفرة رطبة مبنية من قبل المقاول، أو كمجموعة مضمومة في صندوق من الزجاج الليفي في الحفرة الرطبة.

والمضخات النابذة ذاتية الإقلاع المبينة في الشكل (10-21 ب)، شعبية وشائعة لأن الوصول إلى المضخة والمحرّك يتمّ فوق الأرض، دون الحاجة إلى نقلها من الحفرة للكشف عليها، كما هو الحال في المضخة الغوّاصة. توفر دفّاعات المضخة إمكانية كبيرة للتعامل مع المواد الصلبة، ويسمح غطاء الوصول بإزالة كل الأسمال البالية من حلزون الدفّاع. يمكن للمضخات أن تُدار مباشرةً. ولكنها تُدار غالباً بحزام وذلك للسماح بالمرونة في تحديد سرعة المضخة وضبط سعتها. يركّب صمّام التحقّق من التصريف وصمّام البوابة المعزولة فوق الأرض وذلك لتأمين الوصول إليهما. ويُركّب باب صغير فوق الحفرة الرطبة لتأمين الوصول والتنظيف. تتوفر محطات ضخ مزدوجة مكوّنة من طابقين جُمِعا في المصنع ضمن هيكل خارجي ومحمولة على زلاقة.



شكل 10-21: محطات ضخ نظام جمع تقليدي لرفع مياه الصرف من مجرور عميق إلى مجرور معترض أو إلى معدات تحكّم بانسياب محطة معالجة مياه صرف عبر أنبوب تصريف وأنبوب خط مضغوط. (أ) محطة ضخ غواصة نموذجية بحيث تمّ تركيب المضخة الغواصة على أرض الحفرة الرطبة. يستخدم نظام سكك وسلاسل لإخراج المضخة. قد يوضع صمّام تحقق وصمّام بوابة في سرداب تحت الأرض أو فوق الأرض كما هو موضح. (ب) مضخة نابذة ذاتية الإقلاع مركبّة فوق الحفرة الرطبة. الوصول إلى المضخة أسهل لكونها موجودة فوق الأرض. يسمح محرّك يدار بحزام بضبط سرعة المضخة نظراً إلى ازدياد الانسياب مع الزمن. باب صغير مجهز للوصول إلى المضخة للتفتيش عليها وتنظيف الحفرة الرطبة. (موافقة من **Gorman-Rupp Company**)

المراجع

1. Isco, "A Teledyne Technologies Company, Water and Wastewater Monitoring Products, <http://www.isco.com/products/productswm.asp>.
2. *OSHA Technical Manual*, Section V1, Chapter 2: "Excavations: Hazard Recognition .in Trenching and Shoring." U.S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration, <http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm-v/otm-v-2.html#8>.
3. *Concrete Design Manual*, American Concrete Pipe Association, Irving, TX. <http://www.concretepipe.org/manual/START.pdf>.
4. *Engineering Manual.* National Clay Pipe Institute, Lake Geneva, WI. <http://www.ncpi.org/engineer.htm>.
5. American Society for Testing ad Materials (ASTM), <http://www.astm.org>.

مسائل

1-10 ما هو الغرض من مجارير مياه العواصف، ومن تمايزها من مجارير الصرف الصحي؟ ما الاختلاف ما بين المجارير المُتحدة ومجارير مياه العواصف ومجارير الصرف الصحي؟

2-10 كيف يمكن إدارة تلوّث مياه العواصف؟

3-10 إذا أنتج 500 منزل وسطياً 80 gpd/home، مع عامل ذروة قدره 3.5، ما هو حجم أنبوب المجرور المطلوب، استناداً إلى الجدول 10-1؟

4-10 ما هو الأساس المعتمد لتحديد الميول الدنيا المدرجة في الجدول 10-1؟

5-10 لماذا يعتمد تصميم المجرور الصحي على 400 gpcd عندما يكون انسياب مياه الصرف 8 gpcd – 120 gpcd؟

6-10 تضم منطقة تطوير 520 منزلاً، يليها 180 منزلاً على امتداد طريق الدخول للمنطقة، إضافة إلى 440 منزلاً إضافياً على خط المجرور الرئيس. يتوقع أن تساهم المنازل بانسياب ذروة قدره 750 gpd/home. حدّد حجم الأنابيب في كل مقطع.

7-10 ما هو أقصى عدد للمنازل يمكن أن يُخدم بمجرور قطره .24 in بوجود 4.5 فرد في كل منزل؟ علماً أن عامل الذروة يبلغ 3.5 ومقدار الانسياب = 120gpcd .

8-10 لماذا تُستخدم أنابيب متعدّدة في السيفونات، وما هي المعايير في تحديد الأحجام؟ إذا كان متوسط الانسياب 8 mgd، وبلغ الانسياب المتدني 1/2 قيمة متوسط الانسياب، وانسياب الذروة معطىً بالمعادلة 9-3، فما هو الحجم المناسب لأنابيب السيفون؟

9-10 ما هي متطلبات الفصل ما بين أنابيب مياه الشرب وأنابيب المجارير؟

10-10 ما هي الطرق المُستخدمة لمدّ أنابيب بدون حفر خندق؟ كيف تكون الطرق متماثلة ومختلفة؟

11-10 ما هي أنماط الفتحات النموذجية، ولماذا وأين تستخدم؟

12-10 ما هو الغرض من تركيب غطاء شبكة الأنابيب على مصارف المنزل؟ لماذا يُركّب أنبوب تهوية شاقولي؟ كيف يمكن تهوية المجارير الصحية في الشوارع ؟

13-10 كيف توضع القنوات الإصطناعية في مجرور لقياس ملائم للانسياب فيه؟ كيف يمكن قياس الانسياب؟

14-10 لماذا تتآكل أنابيب المجارير؟ ما هو مصدر تآكل أنبوب المجرور؟ وما هي ظروف هذا التآكل؟

15-10 كيف يمكن مراقبة مياه الصرف الصناعي؟

16-10 لماذا يفضّل أنبوب الغضار في خدمة الصرف الصحي؟ ولما يفضّل أنبوب البيتون في انسياب مياه العواصف؟

17-10 كيف يمكن لوصلات الأنابيب أن تُسد بإحكام لمنع التسرب؟ كيف يمكن القيام بتغيراتٍ بسيطةٍ في اتجاه الأنبوب؟

18-10 لتركيب أنبوب غضارٍ مُزجّج في تربة سيئة، ما هي المواد المناسبة للطبقة القاعدية (ارجع إلى الشكل 10-14)؟

19-10 ما نوع الطبقة القاعدية وموادها المناسبة لمد خط مياه من الـــ PVC في تربةٍ غضارية؟

20-10 في تربة طبيعية سلتيّة غضاريّة، ما هو نمط الردميات التي ينبغي أخذها بالاعتبار لما يأتي: أنابيب من PVC، غضار، بيتون، حديد لدن مغلف بالبولي إيثيلين؟ ما هي الاعتبارات الإضافية التي يتوجّب اعتبارها أيضاً للردميات تحت الأرصفة؟

21-10 يريد مقاول أن يشقّ خندقاً مفتوحاً لمدّ الأنابيب. وعندما عُصِرت حفنة من التربة، لم تقطر من العينة قطرة ماء. وعند فتح اليد انهارت التربة بسرعة بدون بقاء كتل. ما هو الميل الآمن لجدران الخندق؟

22-10 بدأ مقاول بحفر خندق. عُصرت قبضة من التربة فتقولبت التربة ثم تحطّمت وتهاوت إلى كتل. اعتماداً على هذه المعلومات فقط، ما هو الميل الأدنى الآمن لجدران الخندق؟ ما هي المعلومات الإضافية المطلوبة التي ستكون مطلوبة لتخفيف حجم الحفرة؟

23-10 كيف يمكن تركيب أنبوب مجارير على ميل ثابت؟

24-10 كيف يمكن اختبار تراص الخندق؟ ما هي المعدات المُستخدمة لاختبار التراص وكيف تُستخدم؟

25-10 نتج من اختبار المُراقب المُعدّل لعينة تربة، محتوى رطوبي مثالي قدره 12% بكثافة وزنيّة جافة قدرها 111 lb/cu ft. بيَّن الاختبار الحقلي لـــ 173 cu in. من التربة أن الوزن الرطب يبلغ 10.8 lb والوزن الجاف 9.65 lb. كم يبلغ الوزن الحقلي الجاف، والكثافة الحقلية، والنسبة المئوية المثالية للكثافة؟ إذا تطلبت المواصفات 90% من التّراص المثالي، هل الترّاص مناسب؟ ما هي التغييرات التي يمكن القيام به لتحسين التّراص؟

26-10 نتج من اختبار المُراقب المُعدّل محتوى رطوبي مثالي قدره 8% بكثافة جافة قدرها 128 lb/cu ft. نتج من اختبار حقلي باستخدام مخروط رملي ما يأتي: الحجم = 166 cu ft بوزن رطب قدره 11.6 lb ووزن جاف قدره 11.2 lb. كم يبلغ الوزن الحقلي الجاف، والكثافة الحقلية، والنسبة المئوية المثالية للكثافة؟ إذا تطلبت المواصفات 95% من التّراص المثالي، هل التّراص مناسب؟ ما هي التغييرات التي يمكن القيام بها لتحسين التّراص؟

27-10 ما هي معدات التّراص المُستخدمة للتُرب الحُبيبية مقارنة بالتُرب المتماسكة؟

28-10 مقطع أنبوب طوله 1000 ft وقطره 12 in. يبدي فقد ارتشاح للخارج قدره 13 gal في 30 min. احسب معدّل الارتشاح للخارج بالــ gal/hr/100 ft، واحسب معدّل الرشح. إذا كان الحد 200 gal/in.dia/mile/day، هل فقود المجرور مقبولة؟

29-10 ما هو الانسياب الأقصى للارتشاح للخارج المسموح لمجرور طوله 200 ft وقطره 8 in. إذا كان الحدّ 100 gal/in.dia/mile/day؟ إذا اختبِر الأنبوب بهواء ذي ضغط منخفض، ما أقل زمن اختبار لهبوط ضغط من 3.5 Psi إلى 2.5 Psi؟

30-10 اختبر مقطع أنبوب من الغضار طوله 250 ft وقطره 8 in. بالهواء. إذا هبط الضغط من 3.5 Psi إلى 2.5 Psi؟ خلال 180 sec، هل تركيب الأنبوب مقبول؟

31-10 نتج من اختبار الهواء لفتحةٍ معيارية عمقها 20 ft وقطرها 48 in. هبوط ضغط قدره 1 in. Hg في غضون 2.2 min. هل الفتحة مقبولة؟

32-10 ما هي الأنماط الشائعة لمحطات ضخ مياه الصرف؟ ما هي الاختلافات الأساسيّة في ما بينها؟

الفصل 11

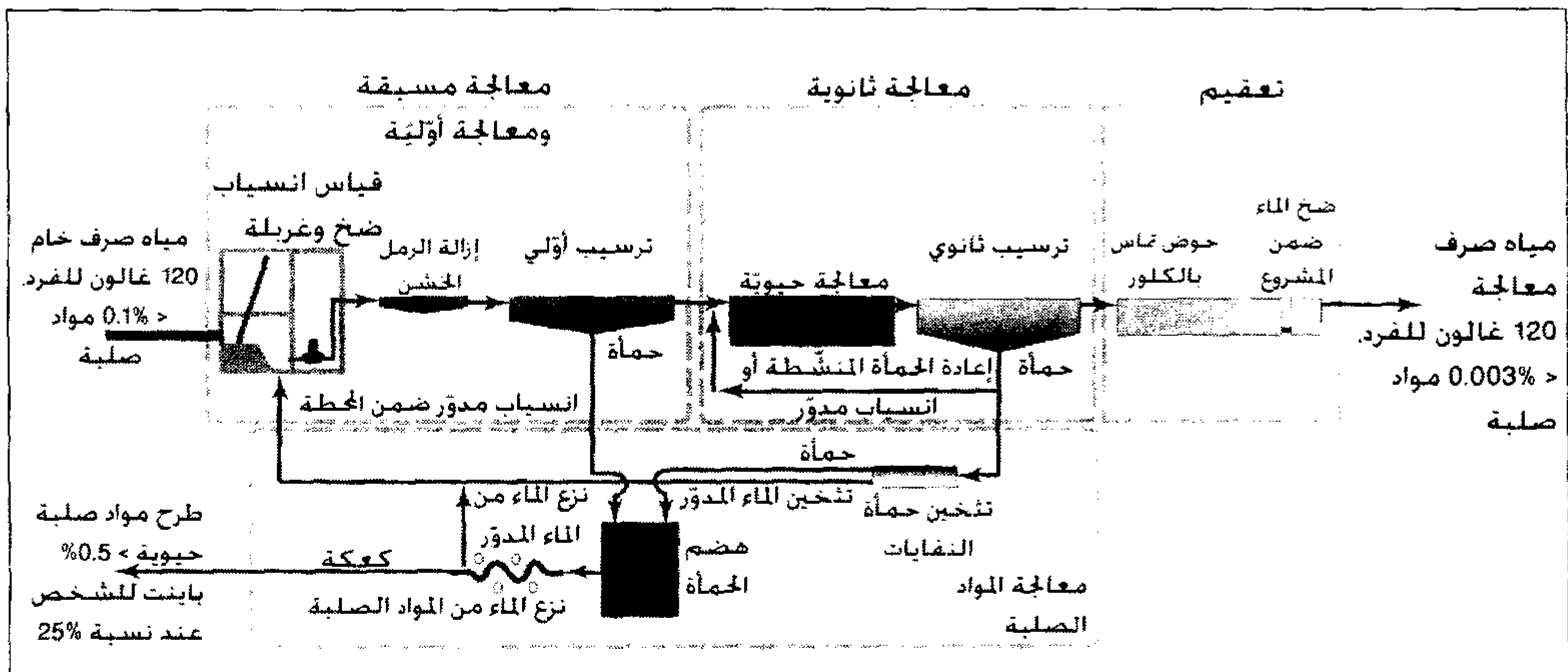
معالجة مياه الصرف

إن المعالجة الميكانيكية التقليدية لمياه الصرف هي دمج لعمليات فيزيائية وحيوية مُصممَّة لإزالة المادة العضوية والمواد الصلبة من المحلول. لقد كانت أول الطرق الميكانيكية في ذلك الترسيب في خزّانات الصرف. لقد كانت خزّانات إيمهوف (Imhoff) المُستخدمة من قبل البلديات، خزّانات صرف من طابقين متمثلين بنطاق تصريف علوي وحجرة سفلية لهضم الحمأة، يفصلهما قاع منحدر ذو شقٍّ مفتوح. تمر المواد الصلبة المترسبة في النطاق العلوي عبر الشق إلى الحجرة السفلية، حيث تُسحب الحمأة المهضومة منها بشكل دوري لطرحها. ويُنجز الترسيب ومعالجة الحمأة في الوقت الراهن في خزانين منفصلين، وتُعالج الحمأة عادةً في خزّانات هضم منفصلة ويُنزع الماء منها ميكانيكياً قبل طرحها.

إن الترسيب الأولي لمياه الصرف المدنية ذو فعالية محدودة، نظراً إلى أن أقل من نصف المحتوى العضوي في مياه الصرف يكون عادةً قابلاً للترسيب. لقد تضمنت المحاولات الأولى للمعالجة الثانوية تخثراً كيميائياً للمروّقات وذلك لتحسين قابلية ترسيب النفايات. بالرغم من أن ذلك يقدّم تحسينات معتبرة، إلا أن الجرعات الكيميائية الثقيلة عالية الكلفة، إضافة إلى بقاء المواد العضوية المُذابة بدون أن تُزال. لقد كان الاختراق الكبير في المعالجة الثانوية هو الملاحظة بأن الحركة البطيئة لمياه الصرف عبر طبقة حصوية تتسبب بخفض سريع للمادة العضوية والـ BOD. بهذه العملية، والتي يُشار إليها باسم الرشح التقطري، تم تطوير للمنشآت المائية المدنية بنحو عام 1910. والاسم الأكثر دقة للمرشح التقطري هو الطبقة

الحيوية، نظراً إلى أن العملية هي أكسدة ميكروبية (جرثومية) للمادة العضوية بواسطة وحلٍ غرويٍّ ملتصق بالأحجار أكثر من أن تكون ناتجة من فعل تصفية.

وكان التقدُّم الثاني الرئيس في المعالجة الحيوية، هو الملاحظة بأن المواد الصلبة الحيوية، التي تطورت في مياه ملوثة، تُكدّر الغرويات العضوية. وسرعان ما تؤيّض كدرات العضويات المجهرية، والتي يُشار إليها بالحمأة المنشطة، الملوّثات الموجودة في المحلول ما يمكِّن من إزالتها منه بالثقالة. وفي عشرينيات القرن الماضي، بُنيت أول محطات معالجة باستخدام الحمأة المنشطة لإزالة الـ BOD من مياه الصرف (نوقشت أيضاً الأنظمة البيولوجية في الفقرة 11-3).



شكل 11-1: مخطط معالجة تقليدية لمياه الصرف المدنية. تتألف معالجة السائل من معالجة أولية، ترسيب أولـي معالجة حيويّة، ترسيب نهائي، وتعقيم قبل التصريف. تتألف معالجة المواد الصلبة من هضم مواد صلبة أوليـة وتثخين مواد صلبة ثانوية، ونزع ميكانيكي للمياه، وطرح النفايات في مقلب دفن النفايات

يلخِّص المخطَّط التصويري في الشكل 11-1 العمليات المطبّقة في المعالجة التقليدية لمياه الصرف المدنية. تتضمن الخطوات الأولية قياسَ الانسياب الداخل، وغربلةً لحماية المضخات من المركبّات الصلبة الكبيرة، وضخّاً وفقاً للحاجة لرفع مياه الصرف فوق منسوب الأرض، وإزالةَ الرمل الخشن لحماية المعدّات الميكانيكية من الاستهلاك التآكلي. تزيل المعالجة الأولية المواد الصلبة الأثقل من مياه الصرف عبر الترسيب، كما تزيل الخبث الذي يطفو إلى السطح. تُستخدم المروّقات الأساسية أيضاً لتخزين وتثخين الحمأة، ولكن وظيفتها الأساسية هي تقليل الحمولة العضوية على

عمليات المعالجة الثانوية. والمعالجة الثانوية هي التحويل الحيوي للمواد العضوية (BOD) إلى كتلةٍ حيوية صلبة كي تُزال في المروِّق الثانوي. توجد بدائل معالجة متعددة، بما فيها الأوساط الثابتة (مرشحات تقطرية). يعقب ذلك ترسيبٌ ثانويٌّ وتعقيمُ التدفق الخارج، ما يقلّل من مخاطره الممرضة ونشاطه الحيوي، الأمر الذي يمكن من استخدامه في ريّ النباتات، أو بطرحه إلى الجداول المستقبلة وفقاً لما يتطلبه الأمر. يتم تفكيك النمو الميكروبي الفائض الذي ترسَّب في المروّق الثانوي، وقد يتم تثخينه قبل هضمه. يظهر الشكل أن حمآت النفايات من الترسيب الأولي والمعالجة الثانوية تُهضم لاهوائياً لتحقيق الاستقرار قبل نزع الماء. تُستخدم محطات المعالجة التي لا تملك مروّقات أولية، الهضم الهوائي للحمآت الثانوية. وتستخدم بعض النباتات عمليات ميكانيكية لاستخلاص الماء مباشرة من الحمأة الخام بعد تحسينها كيميائياً. وقد يكون الطرح النهائي للمواد الصلبة منزوعة الماء في مقالب لردم النفايات، أو بالحرق، أو باستخدامها في الأراضي إن كانت مستقرة حيوياً.

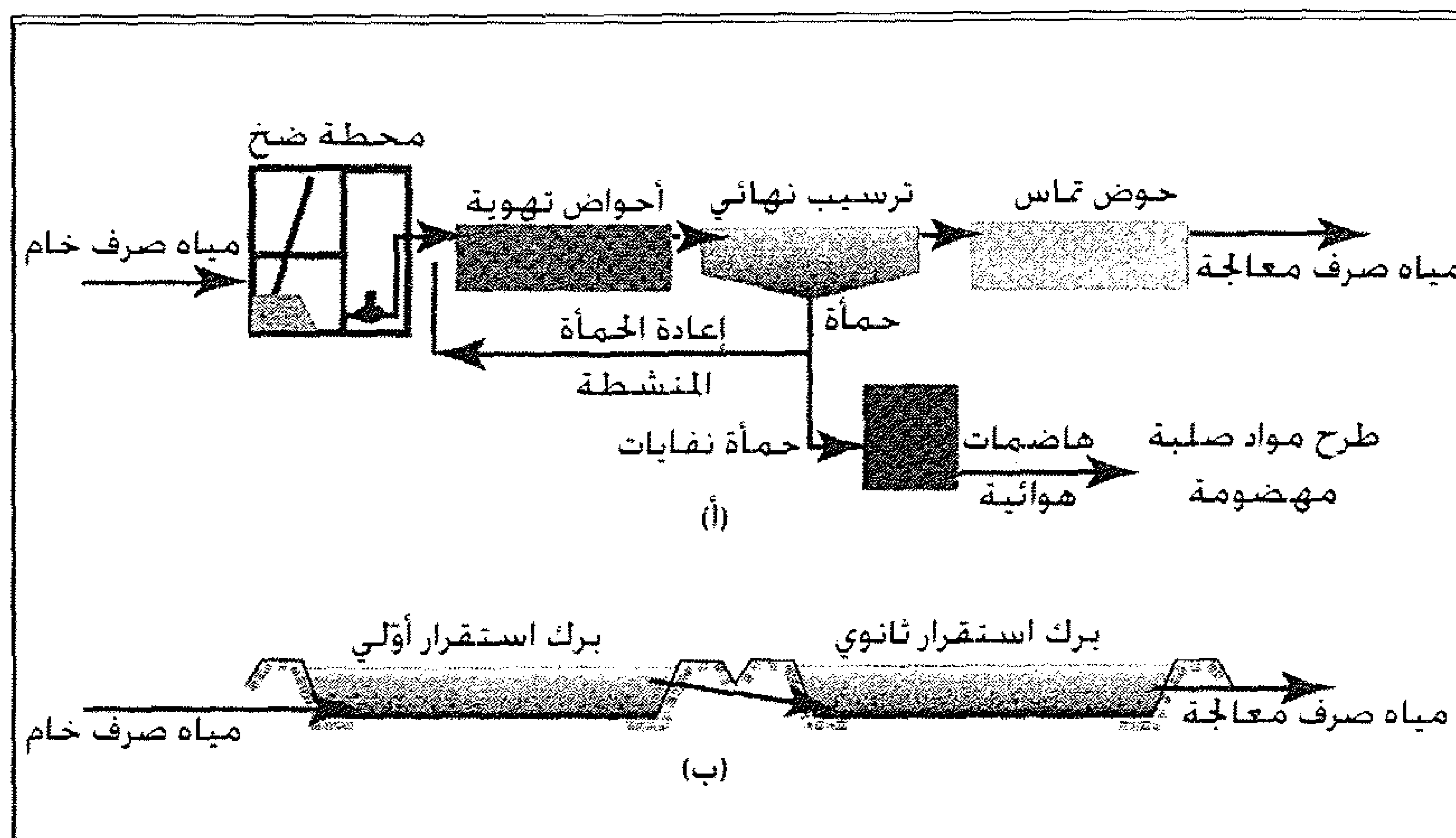
يمكن النظر إلى العملية الشاملة للمعالجة التقليدية بأنها تحويل المادة المُذابة إلى مادة صلبة عضوية وإلى مثخنات مواد صلبة، ويتم تركيز الملوّثات المُزالة من المحاليل بحجوم صغيرة ملائمة للطرح النهائي. إن مساهمة مياه الصرف الصحي الخام تبلغ حوالى 120 gal/person (400 l) بمحتوى مواد صلبة أقل من 0.1%، 240 mg/l من المواد الصلبة المعلَّقة، و200 mg/l من الـــ BOD. تستهلك العضويات المجهرية خلال المعالجة المواد العضوية، وتحوّل الـــ BOD من ثم إلى مواد صلبة حيوية قابلة للترسب. تقدر كمية حمأة النفايات السائلة المسحوبة بالمعالجتين الأولية والثانوية بـــ 0.5 gal/person (2 l)، مع محتوى مواد صلبة يقدر بـــ 5% وزنياً (شكل 11-1). تتم زيادة تركيز هذه الحمأة إلى مادة يمكن التعامل معها لنزع الماء منها ميكانيكياً، حيث يُعاد الماء المستخلص إلى إعادة المعالجة. يبلغ حجم الكعكة الناتجة من نزع الماء pint/person (2 l)، مع محتوى مواد صلبة يقدر بـــ 5% وزنياً (شكل 11-1). تتم زيادة تركيز 0.5 (0.25 l)، بتركيز للمادة الصلبة قدره 25%. ونمط المخطط الفيزيائي – الحيوي هذا، فعّال في تخفيف المحتوى العضوي لمياه الصرف وفي إنجاز الهدف الرئيس بإزالة الـــ BOD والـــ SS. بينما تُزال

المواد المُذابة وملوّثات عصبيّة أخرى بدرجات أقل. وبالعودة إلى الجدول 9-2، يلاحظ أن 50% من المواد الصلبة الطيارة الكليّة (TVS)، و70% من النتروجين الكلي، و70% من الفوسفور الكلي، تبقى في التدفق الخارج بعد المعالجة الحيوية الثانوية. يتطلب الأمر عمليات معالجة صرف متقدمة لإزالة هذه الملوّثات العصبيّة. يمكن ترسيب الأورثوفوسفات بالتخثر الكيميائي، وخفض كمية النتروجين بالنترتة الحيوية وبإزالة النترتة، وبإزالة المواد العضوية المُذابة العصيّة بواسطة الكربون المنشّط.

إن التهوية الممزوجة كلياً من دون ترسيب أولي (شكل 11-2 أ) شائعة الاستخدام في معالجة انسيابات ضعيفة لمياه الصرف، مثل قطع الأرض الصغيرة، والقرى والبلدات. يتراوح حجم أحواض التهوية ما بين أحواض معدنية مجهَّزة في المصانع وذات تهوية منتشرة كي تستوعب انسياب مياه صرف بضع مئات من الأفراد، إلى أحواض مبطنة بالبيتون مهواة ميكانيكياً، كخندق الأكسدة، وذلك لخدمة مدينة عدد سكانها بضعة آلاف. يؤثر إلغاء الترسيب الأولي للغاية في طبيعة حمأة النفايات. فبدلاً من الحصول على حمأة خام خضعت لترسيب أوليٍّ ذات محتوى عال نسبياً من المواد الصلبة، ستكون حمأة النفايات هوائية وكبيرة الحجم ومحتواها من المواد الصلبة يتراوح ما بين 0.5% و2%. ولذلك، يتكون نظام التعامل مع المواد الصلبة لمخطط سير العمليات الموضّح في الشكل (11-2 أ) من هاضمات هوائية (خزانات مهواة لاحتجاز الحمأة)، وسحب سائل حمأة المستقرة لنشرها على الأراضي الزراعية. يمكن للنباتات الكبيرة أن تقلّل حجم الحمأة بواسطة الثقالة أو بالتثخين الميكانيكي قبل الهضم والنزع الميكانيكي للمياه .

تَستخدم مئات القرى والمنشآت التجارية في المناطق الريفية برك الاستقرار لمعالجة مياه الصرف (شكل 11-2 ب). إن الحمولة العضوية المطبقة على الأهوار منخفضة للغاية، ويكون زمن الاحتفاظ طويلاً، إذ يكون عادةً بحدود 90 يوماً. والشكل 19-3 مخطط توضيحيٌّ للعمليات الحيوية الطبيعية التي تسبب استقرار حمأة الصرف. وفي المناخات الجافة قد يكون معدل التبخر مساوياً أو أعلى من حمولة السائل، وبالتالي تُوفر البرك احتجازاً تاماً لمياه الصرف. قد تُستخدم مياه الصرف المستقرة في

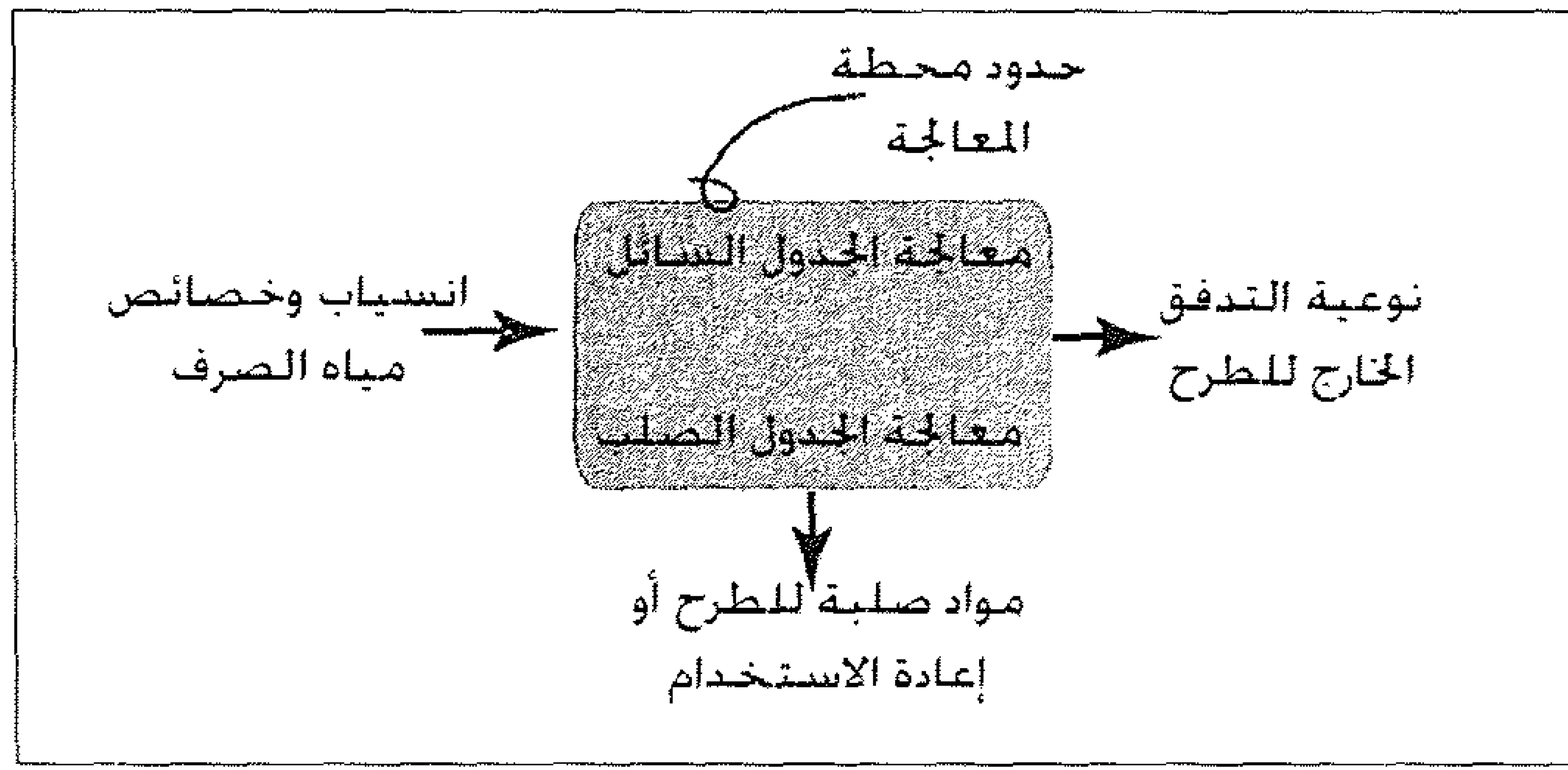
الري، أو إن كان فيضان الأهوار يصب في الجداول، فإن مياه الصرف المعالَجة ينبغي أن تُغربل لإزالة الطحالب لاستيفاء متطلبات طرح التدفق الخارجي.



شكل 11-2: مخططات معالجة لأنظمة معالجة انسيابات ضعيفة لمياه الصرف (أ) معالجة حيوية من دون ترسيب أولي. (ب) برك استقرار طبيعية اختيارية

11-1 اعتبارات في تصميم المحطة

يظهر الشكل 11-3 مخططاً تصويرياً أساسياً يحدد مواقع اعتبارات التصميم الأساسية بالنسبة إلى حدود محطة المعالجة. يتم تحديد نوعية التدفق الخارج، لمهندس التصميم من قبل سلطة ضبط التلوّث الحكومية. ونظراً إلى كون معايير التدفق الخارج نوعيّة وخاصّةً بكل نوع من أنواع المياه التي ستتلقاه، فإنه يجب اعتمادها لكل محطة معالجة تبعاً لموقع تصريفها. واستناداً إلى كمية انسياب مياه الصرف الخام الداخلة وعلى خصائص وكمية النوعية المطلوبة للتدفق الخارج، يمكن لمهندس التصميم أن يوصي بأنظمة بديلة لمعالجة مياه الصرف. ونظراً إلى أن حمأة الصرف الناتجة تختلف باختلاف نوع نظام المعالجة، فإن مهندس التصميم يحتاج إلى معرفة الطريقة المرغوبة لطرح الحمأة كي يستخدمها. يتم لاحقاً انتقاء عمليات استقرار الحمأة ونزع الماء منها اعتماداً على كلٍّ من نظام معالجة مياه الصرف وطريقة طرح الحمأة أو إعادة استخدامها.



شكل 11-3: اعتبارات أساسية لتصميم أو لتوسعة معالجة مياه الصرف أو معالجة الحمأة

نوعية التدفق الخارج

إن المعايير المستندة إلى التقنية للمعالجة الثانوية لمياه الصرف المدنية هي: أقصى متوسط شهري للـــ BOD قدره 30 mg/l، وللمواد الصلبة المعلّقة 30 mg/l، الزيت والشحم 10 mg/l، للـــ pH ما بين 6.0 و9.0. إن تعقيم تدفق مياه الصرف الخارج (Effluent) أمر مطلوب أنّى كان ذلك ضرورياً لحماية الصحة العامة. قد يلزم إزالة كلورة لاستبعاد أيّ متبقي كلور قبل الطرح. إن معيار النوعية الشائع لبكتيريا القولونيات البرازية هو متوسط هندسي لا يتعدى 200 في الـــ 100 ml. إن ترخيص "نظام الاستئصال الوطني للتصريف الملوّث" (NPDES) قد يكون أكثر تشدداً حيال هذه الملوّثات التقليدية، بل يتضمن ملوّثات أخرى يتوجب الالتزام بمعايير نوعية الماء تجاهها. لقد نوقشت معايير التدفق الخارج إلى المياه السطحية، كما نوقش برنامج (NPDES) في الفقرة 5-5. أما معايير التدفق الخارج للري المقيد وغير المقيد، ولتطبيقات إعادة الاستخدام، فستناقش في الفصل 14.

حمولة التصميم

تتباين كمية مياه الصرف المُستخدمة في تحديد أبعاد الأحواض والمعدات مع طبيعة المعدات وما إذا كانت العملية مقيدة الحمولة أو مقيدة هيدروليكياً. ويجب عند اختيار قيم الانسياب والحمولة الأخذ بالحسبان التغيرات الساعيّة، واليومية والفصلية. فمثلاً، في المناخات الدافئة يكون متوسط الانسيابات الشهرية الصيفية

غالباً أكثر من المعدل السنوي بنحو 20% إلى 30%، وتكون الانسيابات عند توقف الصناعات أيام السبت والأحد أقل عموماً. يتضمن التصميم المنتقى رشحاً عادياً/رشحاً للداخل، اللذين يحدثان خلال الفصل الرطب. كما يتوجب الأخذ بالاعتبار الجريان السطحي لمياه الأعاصير المُجمّعة في المجارير المتحدة والتي تنساب باتجاه المحطة. وأنّى توفرت بيانات ولو قليلة، يمكن للمهندس بناءً عليها، أن يزيد كمية مياه الانسياب من المناطق ذات المجارير الأقدم بنسبة 25%. ويُشار إلى هذه القيمة بتعبير "انسياب تصميم المناخ الرطب".

ويُعبَّر عادةً عن الانسياب وقيم الحمولة (Loading) بمصطلحات ساعة الذروة، واليوم الأقصى، وأقصى متوسط شهري، والمعدل السنوي. فضلاً عن ذلك، يمكن أن يُشار إلى الانسيابات بمتوسط المناخ الجاف ومتوسط المناخ الرطب. والحمولة (lb من BOD أو المواد الصلبة الطيارة) هي ذاتها، فهي كمية الانسياب الذي يغيّر التركيز. يمكن أن تخصص الحمولة بفصل من الفصول، فمثلاً يمكن لقيم منفصلة أن تُدرَج في جدول لنشاط صناعيٍّ وزراعيٍّ متزايد. تشير ساعة الذروة عادةً إلى الذروة الملاحظة في فترة مدتها ساعة خلال حدوث عاصفة، أو خلال ذروة تحميل نهاري. إن قيمة الانسياب هامة عند تحديد أحجام المضخات، والأنابيب والمعدات المقيَّدة هيدروليكياً. وقيمة التحميل هامة في تحديد أحجام معدات التهوية والهضم كي تلبي متطلبات الذروة. تتضمن قيم اليوم الأقصى، وانسياب المناخ الرطب وتأثيرات ذروة الحمولة الصناعية. تُستخدم قيم أقصى متوسط شهري للانسياب، وللـ BOD وللمواد الصلبة الطيّارة، في تحديد أحجام الأحواض، نظراً إلى أن متطلبات التدفق الخارج يُعبَّر عنها أيضاً بحدود المتوسط الشهري. تؤخذ قيم الانسياب والحمولة من الشهر نفسه. تُحسب قيم المتوسط السنوي من متوسط قيم المتوسط الشهري. تتطلّب القيم المُستخدمة في التصميم محاكمة عقلانية للغاية بحيث لا يكون حجم المعدات أصغر أو أكبر مما ينبغي.

يدرج الجدول 11-1 معايير التصميم لعمليات المعالجة الموضحة في الشكل 1-11. إن الانسيابات الهيدروليكية الساعيّة القصوى والدنيا قابلة للتطبيق لتحديد أحجام وحدات محدَّدة كمضخات الرفع. تتراوح عادةً الانسيابات الدنيا ما بين 20% إلى 50% من المتوسط اليومي، أما المعدلات القصوى فتصل إلى 200% على 300%.

وتكون هذه القيم الحديّة في بعض الأحيان مُربِكة، نظراً إلى أنه قد يعبَّر عنها بوحدات ملايين الغالونات باليوم، في حين يتم الرجوع إلى الانسياب الذي يحدث عبر ساعة واحدة. فعلى سبيل المثال قد تنص مواصفة على أنه مخطط لنظام تهوية أن يكون أقصى متوسط شهري له 5 mgd وبانسياب ذروة يبلغ 10 mgd. ويعني هذا أن الوحدة باستطاعتها معالجة 5 mil gal خلال يوم واحد تحت الظروف الشهرية القصوى مع تغيّر الانسياب بحيث إن معدل ساعة الذروة لا يتجاوز 10 mgd. ويجب أن يفسر هذا بأن النظام قادر على معالجة 10 mil gal في فترة 24 hr. يجب أن تُفحص كل العمليات وكل مكوّنات المعدات لدى ظروف المعدل، وظروف الحد الأدنى، وظروف الذروة. قد يتجاوز المجال الممتد من الحد الأقصى إلى الحد الأدنى، مجال الوحدة، الأمر الذي يتطلب عدّة وحدات معالجة لتحقيق تغطية كاملة. ويقوم كثير من محطات المعالجة المُصممَّة للعمل تحت ظروف الذرى الموسمية، بإخراج وحداتها من الخدمة خلال باقي الفترات.

جدول 11-1: قرائن التصميم النموذجية لعمليات المعالجة المبينة في الشكل 11-1

العملية	الحمولة
قياس الانسياب	انسياب الذروة الساعي (بالساعة)
غربال قضبان	انسياب الذروة الساعي
مضخّات	انسياب الذروة الساعي
	الانسياب الأدنى الساعي
حجرة الرمل الخشن	الانسياب الأقصى الساعي
	انسياب الذروة الساعي
الترسيب الأولي	الانسياب الأقصى الشهري
المعالجة الحيويّة	الحمولة القصوى الشهرية من الـ BOD
	فحص حمولة الذروة الساعية من الـ BOD
الترسيب النهائي	الانسياب الأقصى الشهري
التعقيم	انسياب الذروة الساعي

التثخين	انسياب الحمأة الأقصى اليومي
	فحص الحمولة القصوى من المواد الصلبة
الهضم	الحمولة القصوى الشهرية من المواد الصلبة الطيّارة
	فحص انسياب الحمأة الأقصى الشهري
نزع الماء	انسياب الحمأة الأقصى
	فحص الحمولة القصوى من المواد الصلبة
استعمال في الأراضي	الحمولة القصوى من المواد المغذية (حمأة)
	الحمولة الهيدروليكية القصوى (مياه)

يتحدد المحتوى العضوي من مياه الصرف المدنية من خلال تراكيز الـ BOD والمواد الصلبة المعلَّقة. يتم التعبير عن تصميم الحمولات العضوية على محطة معالجة بتعابير متوسط عدد الباوندات لكل يوم من أيام الأسبوع. ينبغي تحويل واحدات الميليغرامات باللتر إلى باوندات باليوم، باستخدام الانسياب المترافق مع قياس التركيز. لا يترافق عادةً انسياب الذروة مع تركيز الذروة، وقد يكون، أو لا يكون مساوياً لقيمة حمولة الذروة في ما لو حُوِّلت إلى باوندات. والمتحوِّلات الأخرى الهامة التي يتوجب أخذها بالاعتبار في حمولات التصميم هي نتروجين الأمونيا، والانسياب غير المنتظم، والقوة العالية، ووجود المواد السامة في مياه الصرف الصناعي.

متحوّلات (معاملات) التصميم

يُعبَّر عن معايير تصميم وحدات معالجة، بمجموعة منوعة من التعابير. فيُعبَّر عن القرائن الهيدروليكية بتعابير المعدلات (انسياب بواحدة الطول أو انسياب بواحدة المساحة) وأزمنة الاحتفاظ (انسياب بواحدة الحجوم). يتم تحديد أحواض الترسيب اعتماداً على معدل حمولة السد، ومعدل الانسياب الفائض، وزمن الاحتفاظ. ومعدل حمولة السد هو قيمة التدفق الخارج من فوقه مقسومةً على طوله، ويعبَّر عنه بعدد الغالونات في اليوم لكل قدم خطي من طول السد. أما معدل الانسياب الفائض فهو

ناتج تقسيم الانسياب الخارج على مساحة سطح الخزان، معبراً عنه بوحدات عدد الغالونات في اليوم لكل قدم مربع. يتم حساب زمن الاحتفاظ بالساعات عبر تقسيم حجم الخزان على الانسياب الداخل، معبراً عنه بالساعات.

ويُعبَّر عن الحمولة العضوية لوحدات المعالجة بتعابير باوندات المواد الصلبة المعلَّقة أو المواد الصلبة المعلَّقة الطيارة في واحدة الحجوم، وباوندات لكمية الـ BOD خلال خمسة أيام في واحدة الحجم. ويعبر عادةً عن الحمولة على حوض التهوية بكمية الـ BOD بالباوندات المطبَّقة على 1000 cu ft من حجم الخزان باليوم. ويُستخدم لحمولة المرشّح الحيوي الواحدات نفسها، باستثناء الحجم إذ يشير إلى كمية الوسط لا إلى حجم السائل. إن فترة التهوية (زمن الاحتفاظ الهيدروليكي) في عملية حمأة منشطة تساوي ناتج قسمة حجم حوض التهوية على انسياب مياه الصرف الخام (ساعات). ونظراً إلى أن المرشحات البيولوجية لا تحوي حجماً سائلاً، تمثّل الحمولة الهيدروليكية بكمية مياه الصرف المطبَّقة على واحدة مساحة السطح، مثلاً، ملايين الغالونات في اليوم بالدونم (mgad). يتم التعبير عن حمولة الهاضمات بكمية الباوندات من المواد الصلبة المعلّقة الطيارة بكل 1000 غالون باليوم.

يوصى عادةً بمعايير منشورة وموزَّعة، لقيم عددية محدَّدة لمتحوّلات التصميم المُستخدمة من قبل المهندس الذي يقوم بتقدير حجم وحدات المعالجة. فمثلاً، إن المعايير الموصى بها لمرافق الصرف الصحي، وسياسات التصميم، والمراجعة العامة، والمصادقة على خطط ومواصفات جمع مياه الصرف ومرافق المعالجة، وتقرير لجنة مياه الصرف للبحيرات الكبرى، وتقرير مجلس مدراء الصحة العامة والمدراء البيئيين المحليين والحكوميين لنهر الميسيسبي الأعلى، يتم استخدام كل هذه البيانات من قبل الوكالات التنظيمية في عشر ولايات تحيط بالبحيرات الكبرى، لاستعراض خطط المرافق الصحية. لقد أرست الولايات وبشكل متزايد، معايير تصميم عمليات الوحدة، وذلك عندما يُعاد استخدام مياه الصرف أو المواد الصلبة الحيوية أو استخدامها في المناطق الشعبية. ومع ذلك، مازال العديد من مواصفات التصميم غير مدرج وينبغي اختيارها من قبل المهندس اعتماداً على الخبرة وعلى

توصيات مصنِّعي المعدات. والتي قد لا تكون جاهزة ومتوفرة في المراجع المنشورة، ومن أجل محطة معالجة محدَّدة، ينبغي الحصول على القرائن المطبَّقة من مهندس التصميم أو القرائن التي تم تطويرها بناءً على الأداء الفعلي للمحطة.

تظهر مخططات البناء تصميم المحطة، وبرنامج الانسياب، وأبعاد الخزان، ولكنها لا تتضمن عادةً قوائم بحمولات التصميم أو لا تظهر معدّات مالكي المحطة. تصف مواصفات العقد نوعية جودة العمل، والمواد التي سيتم تركيبها كما تتضمن متطلبات أداء الوحدات الميكانيكية، كالمضخات والمهويّات. يناقش التقرير الأولي للدراسة، والذي يُكتب قبل إعداد المخططات والمواصفات، شروط تصميم المحطة كما يتضمن الحمولات، والانسيابات وعمليات المعالجة البديلة. إن التخطيط والتصميم والبناء عمليات تطورية. ينبغي مقارنة القيم في تقرير ما قبل التصميم بمخططات ما تم بناؤه فعلاً، نظراً إلى أن التصاميم قد تكون عُدِّلت خلال الفترة الممتدة ما بين كتابة التقرير الأولي وبين إشادة المحطة. ويُطلب من مهندس التصميم كتابة دليل التشغيل متضمناً حمولات التصميم ومتطلبات نوعية التدفق الداخل، ويكون هذا الدليل عادةً أفضل مصدر لمعلومات التصميم.

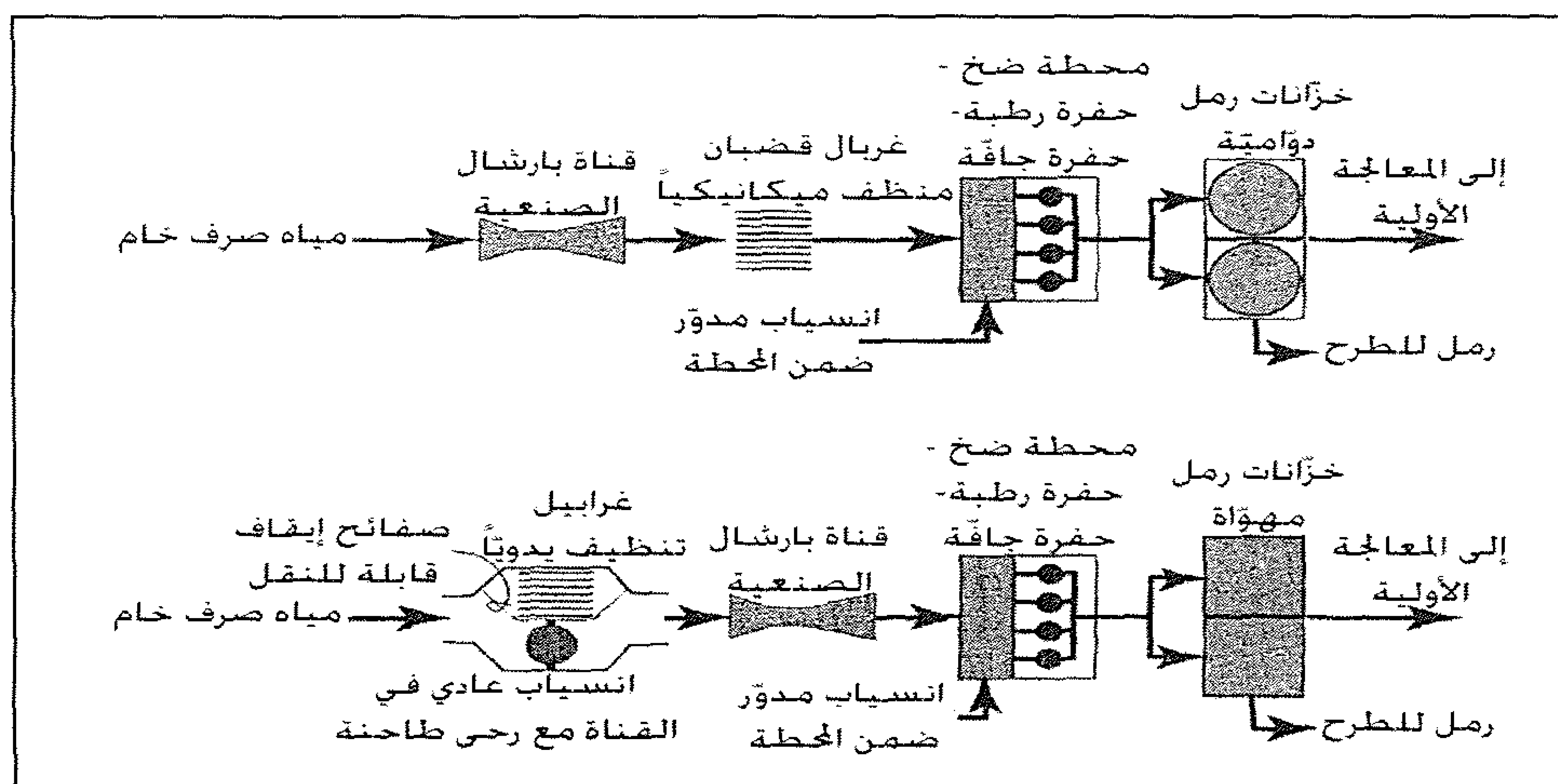
2-11 المعالجة الأولية

إن قياس الانسياب، والغربلة، والضخ، وإزالة الرمل الخشن هي عادةً الخطوات الأولى في معالجة مياه الصرف المدنية. يمكن إضافة محلول كلور أو كلوريد الحديديك إلى مياه الصرف الخام لضبط الرائحة وتحسين خصائص ترسُّب المواد الصلبة. يختلف ترسيب الوحدات الأولية في المحطة، ولكنها تبقى القواعد الآتية السائدة. توجد عادةً قناة صنعية من طراز بارشال في البداية قبل الغرابيل وقبل مدخل الانسيابات المُدوَّرة إلى المحطة. يُقاس منسوب الماء بواسطة مقياس مولد الفقاعات أو مقياس بالأمواج فوق الصوتية، ويحوِّل منسوب الماء إلى انسياب باستخدام معادلات القناة الصنعية. تحمي الغرابيل المضخات وتمنع المواد الصلبة الكبيرة من إتلاف الوحدات التالية. وبوجود مضخات متعددة السرعات، قد يوضع

مقياس انسياب مغنطيسي في أنبوب التصريف أو في القناة الصنعية على جانب تصريف المضخات. تخفف إزالة الرمل الخشن من الاستهلاك التآكلي للمعدات ويُمنع تراكم الرمل في الخزّانات والأنابيب. وبالرغم من أنه، نموذجياً، يتوجب إزالة الرمل الخشن قبل الوصول إلى مضخات الرفع، إلا أن حجرات الرمل الخشن فوق الأرض حلٌ أكثر اقتصاديةً بكثير وتعدّل من كلفة صيانة المضخات. هناك ترتيبان للوحدات الأولية يوضحهما الشكل 11-4. المخطط العلوي منهما نموذجي للمحطات الكبيرة، بينما التتابع السفلي شائع في الأنظمة الصغيرة.

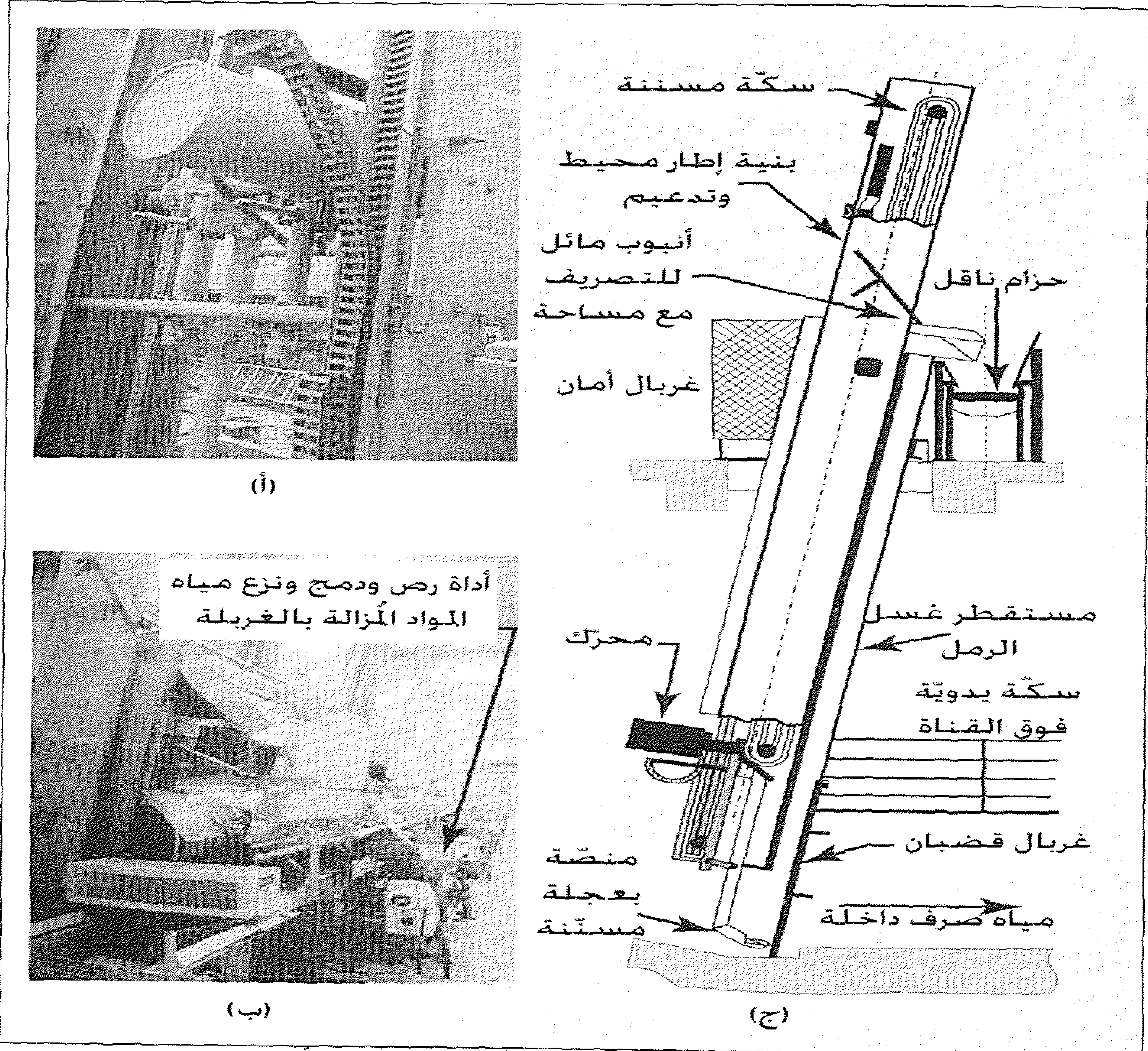
قياس الانسياب

كل محطات المعالجة مطالبة بمراقبة الانسياب الداخل لمياه الصرف. وأفضل نظام لذلك هو قناة بارشال الصنعية والمجهزة بمسجّل أوتوماتيكي للانسياب وآلة تجميع (ارجع إلى الفقرة 4-10). إن مزيّة القناة الصنعية هو الفقد الطفيف للعلوّ والانسياب الهيدروليكي اللطيف في أنابيب التصريف القادمة من محطة ضخ التدفق الداخل، بَيد أن ذلك لا يوصى به نظراً إلى الانسيابات المُدوَّرة ضمن المحطة والمشاكل المحتملة في التشغيل والصيانة.



شكل 11-4: ترتيبات نموذجية لوحدات المعالجة الأولية في معالجة مياه الصرف المدنية: قياس الانسياب، والغربلة، وضخ مياه الصرف، والتتابع السفلي شائع في المحطات الصغيرة

الغرابيل النظيفة ميكانيكياً ذات فتحات بين قضبانها تتراوح ما بين .in $\frac{1}{2}$ إلى .in $2\frac{1}{4}$. وكما هو موضح في الشكل 11-5، تُزال المواد الصلبة المجمَّعة من القضبان بواسطة منصب متحرك يرفعها إلى قمة الوحدة. هنا يمكن تغذية نتاج الغربلة إلى أداة رصٍ ودمج لنزع الماء منه قبل طرحه في أوعية محمولة لنقلها إلى مواقع دفنها بمقلب دفن النفايات.

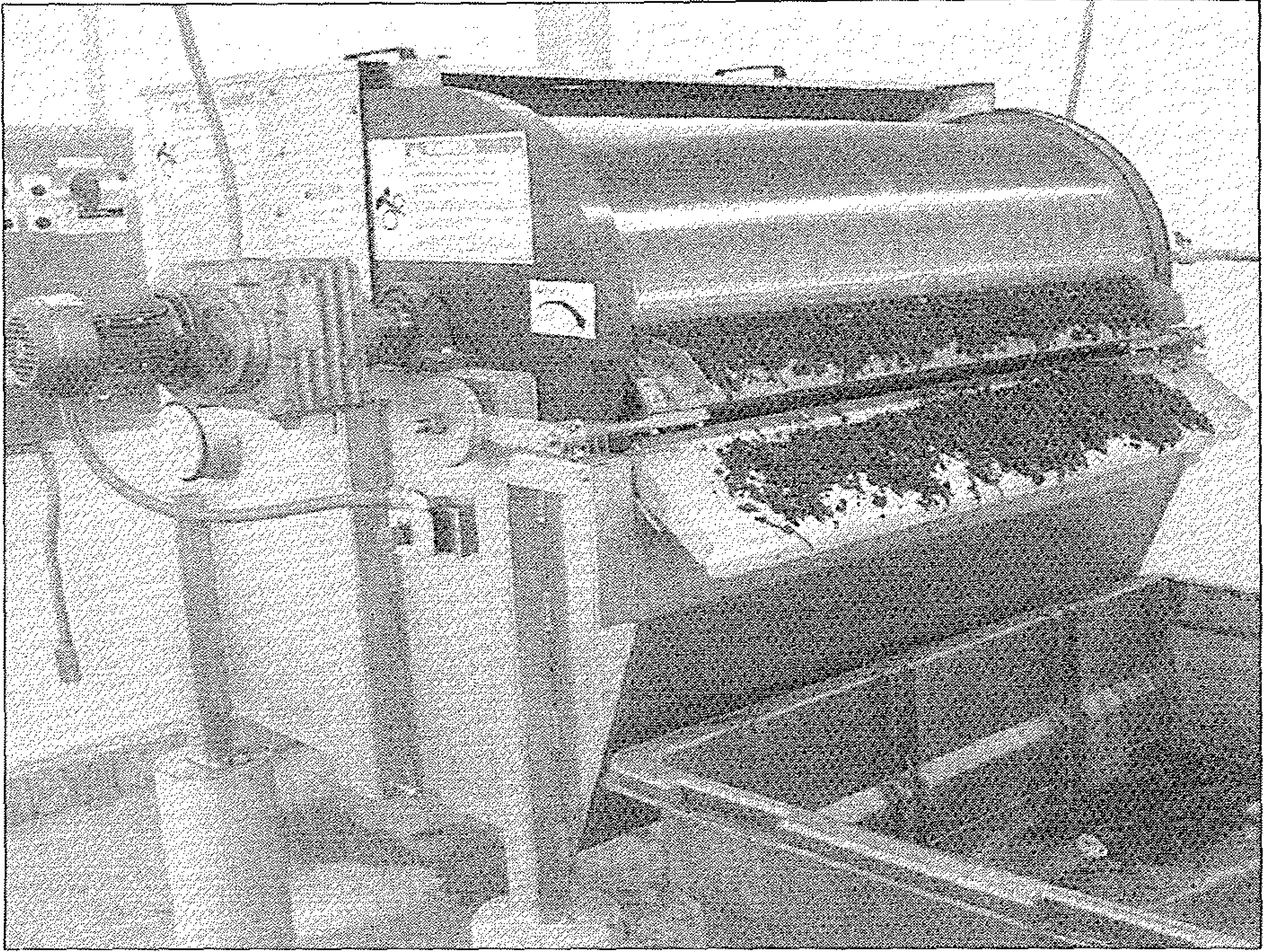


شكل 11-5:غربال قضبان من النمط المتسلق ينظف ميكانيكياً. (أ) صورة للمشغِّل في قمة غربال القضبان يظهر المحرك والعجلات المسننة على الصفيحة الثابتة ما بين السكك الجانبية. (ب) صورة من الخلف تظهر الوحدة بينما تتحرك الغرابيل على الحزام. (ج) رسم لغربال القضبان، فتحة الغربال .in $\frac{3}{4}$. الأجزاء المتحرِّكة غير مغمورة بمياه الصرف. الجزء السفلي لغربال القضبان موضَّح في الشكل 11-11ب.

يتم أيضاً تصنيع غرابيل قضبان ذات منصات تُحرَّك بالسلاسل. والغرابيل صغيرة الفتحات المصنعة من بلاستيك عالي المقاومة شائعة لإزالة كميات كبيرة من الورق والبلاستيك. أما الغرابيل المصنَّعة من نسيج شبكي مستمر والتي تتراوح فتحاتها ما بين 3 mm إلى 6 mm ($\frac{1}{8}$ in. إلى $\frac{1}{4}$ in.) فهي شائعة عبر كل أوروبا.

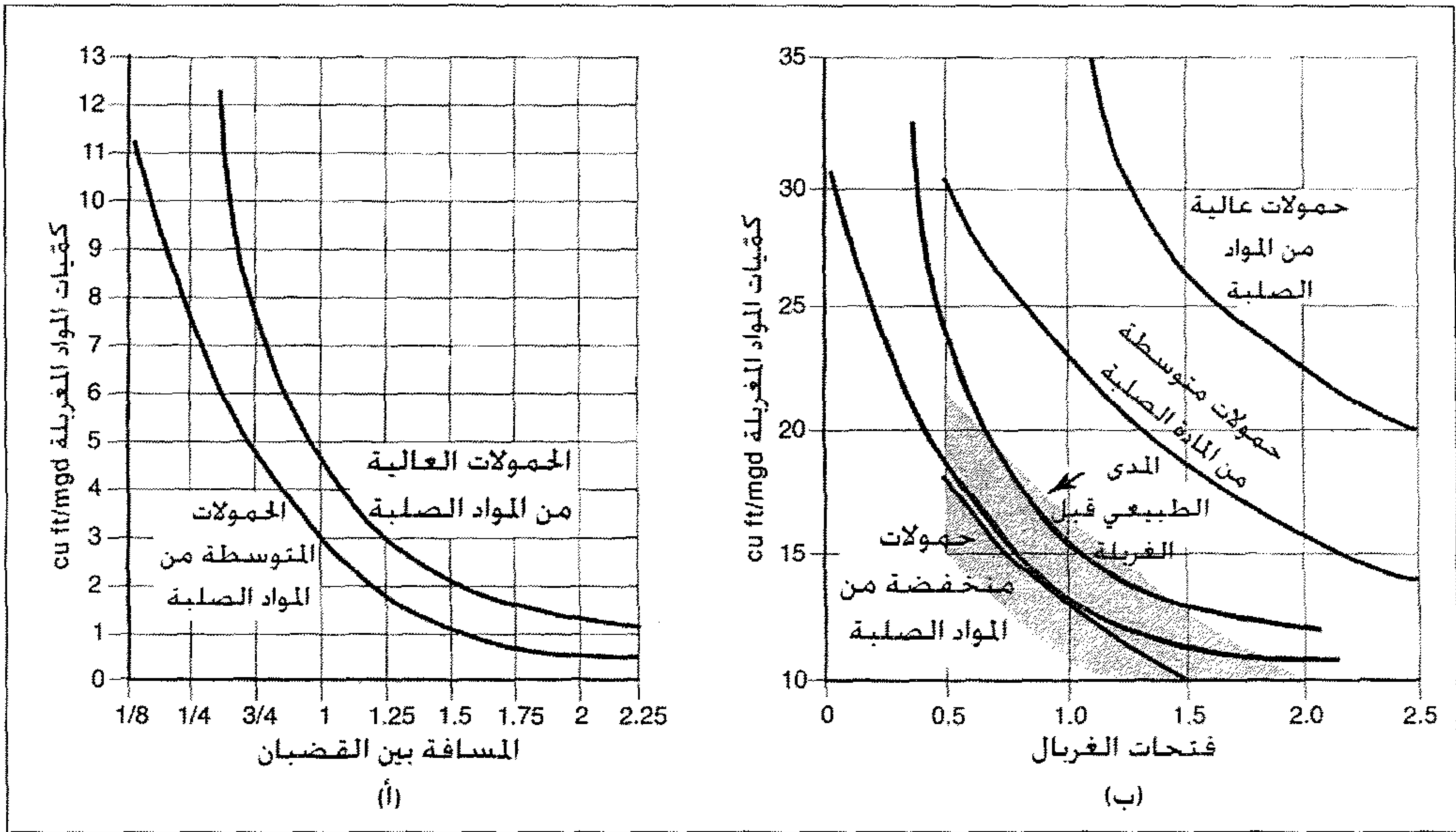
يتطلب الأمر غرابيل فتحاتها ما بين 1 mm إلى 3 mm ($\frac{1}{32}$ in. إلى $\frac{1}{8}$ in.) لإبعاد المواد الليفية غير القابلة للتحلل حيوياً والشعر من مياه الصرف. إن إبعاد هذه المواد ضروري إن كان إعادة تدوير الحمأة للاستخدام العام والمعالجة الحيوية المسبقة في وحدة غشائية أمراً محتملاً. يتم تغذية الغربال الدوراني الظاهر في الشكل 11-6 خارجياً بحيث توجَّه مياه الصرف نحو أسفل الغربال، ثم فوقه وعلى امتداده وعبره، ومن ثم إلى أنبوب باتجاه المعالجة الثانوية.

يتم إزالة المواد الصلبة اللزجة التي تجمَّعت على البرميل بواسطة مجداف كاشط وبغسيل مرتَد باستخدام فوهات بزباز ضغط. وقد تُسخَّن أحياناً مياه الرذاذ لإزالة الشحم الذي قد يسد فتحات الغربال. وللوحدة الظاهرة فتحات قدرها 2.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) بسعة قدرها 7800 gpm ($1.8\ m^3/h$). ووحدات الغرابيل الأخرى الناعمة تكون ثابتة ومركَّبة على انسياب القناة. قد تُركَّب وحدات غرابيل ناعمة كجزء من المعالجة الأولية بدلاً من غرابيل القضبان، أو ضمن سلسلة من الغرابيل مع غربال قضبان حمايةً للمعالجة، وغربال ناعم حمايةً للأغشية المُستخدمة في المعالجة الثانوية. إن وضع غرابيل متدرجة بصغر فتحاتها يخفِّف كمية المادة العضوية المُزالة لدى كل خطوة غربلة.



شكل 11-6: صورة لـ غربال دوراني فتحته 2.5 mm، تدخل مياه الصرف من مؤخرة الغربال، تنساب عبر برميل الغربال وتخرج إلى أنبوب باتجاه المعالجة الثانوية. تُزال المواد الصلبة المتجمّعة على البرميل بواسطة مجداف كاشط وتُصرَّف إلى حاوية لتطرح في مقلب دفن النفايات. (موافقة الصورة من: **Parkson Corporation**)

يتباين حجم المواد المُزالة بالغربلة من مياه الصرف بتباين كمية المواد الموجودة في مياه الصرف الداخلة، وأسيّاً مع تناقص حجم الغربال. لا يتتبَّع عادةً مشغلو المحطة كمية المواد المُزالة بالغربلة، لذا لا تتوفر بسهولة بيانات عن أحجام هذه المواد. أما الكمية المُزالة بالغربلة الموضحة في الشكل 11-7 فهي تقديرات تقريبية لإزالة المواد الصلبة، تُستخدم لتحديد أحجام أدوات نقل المواد المُزالة بالغربلة. يظهر (الشكل 11-7أ) تقديراً لإزالة المواد المغربلة تحت ظروف متوسط وذروة الإزالة أو لدى ظروف وجود مواد صلبة بشكل كبير للغاية. تتراوح أحجام القضبان ما بين $\frac{1}{8}$ in. إلى $2\frac{1}{4}$ in.، وتتراوح كمية المواد المُزالة بالغربلة ما بين 11 ft^3/mgd إلى 1 ft^3/mgd.

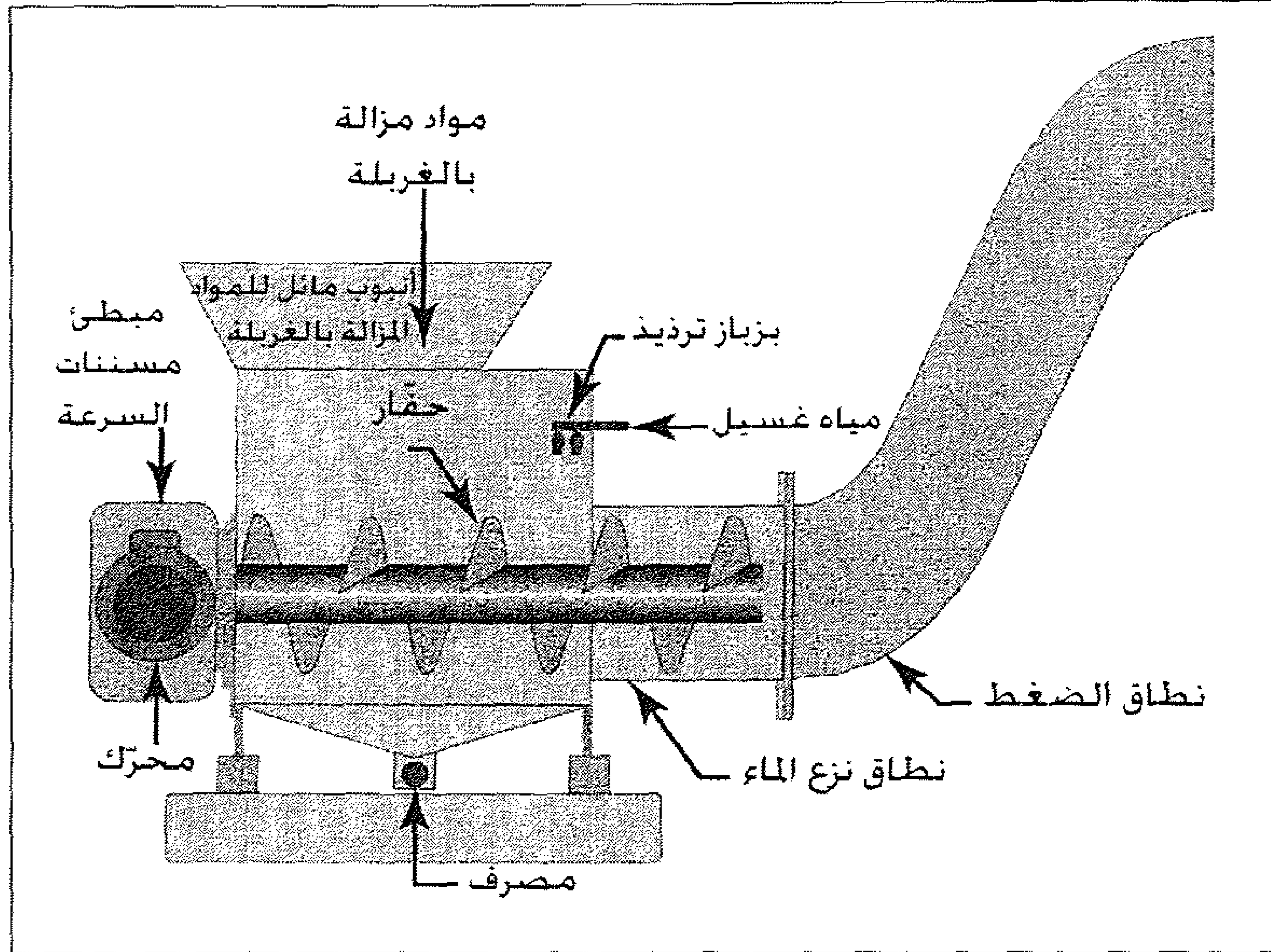


شكل 11-7: تقديرات كمية المواد المُزالة بالغربلة مقدرة بـ **cu ft/mgd** لغرابيل القضبان الخشنة والناعمة، استناداً إلى فتحة الغربال وأبعاد المواد الصلبة. (أ) كميات المواد المغربلة لكل فتحات الغرابيل من $\frac{1}{8}$ in. إلى $2\frac{1}{4}$ in.. تمثّل الخطوط كميات المواد المغربلة المحتملة لحمولات قيمة المتوسط والحمولات العالية من المادة الصلبة. (ب) كميات المواد المغربلة لفتحات الغرابيل الناعمة ذات فتحات تتراوح بين **1 mm** و **2.5 mm** لحمولات منخفضة وحمولات قيمة المتوسط والحمولات العالية من المادة الصلبة. تبرز المنطقة الرمادية كمية المواد المغربلة عند استخدام غربال قضبان قبل الغربال الناعم من أجل غربلة مسبقة. (موافقة من:**Parkson Corporation**).

يظهر الشكل (11-7 ب) إزالة الغرابيل الناعمة ذات الفتحات التي تتراوح ما بين 1 mm إلى 2.5 لإزالة منخفضة وإزالة متوسطة، وإزالة كبيرة للغاية للمواد الصلبة. تتراوح إزالة المواد المغربلة ما بين $35\ ft^3/mgd$ إلى $10\ ft^3/mgd$. تميل الغرابيل الناعمة التي تلي الغرابيل الخشنة إلى إزالة في المجال المنخفض للمواد الصلبة والممثل بلون رمادي في الشكل (11-7 ب). تُستخدم مثل قيم الغربلة هذه فقط كتقريب تقديري عام لإزالة محتملة للمواد المغربلة.

تحوي المواد المغربلة بعد إزالتها ماءً حراً وكميات مختلفة من المواد العضوية. ويضع الكثير من مقالب النفايات قيوداً على الماء الحر وعلى نسبة المادة العضوية. والشكل 11-8 مخطط لأداة تُستخدم في غسيل ونزع ماء المواد المغربلة. يقوم بزباز الترذيذ بتفتيت وجرف المواد العضوية بينما يعصر الحفار وأنبوب

الضغط الماء إلى الخارج، منتِجاً سدادة من المواد الصلبة المتراصة مناسبة لطرحها في مقلب ردم النفايات.



شكل 11-8: وحدة معالجة مواد مزالة بالغربلة لغسل المادة العضوية ونزع الماء من المواد المُزالة بالغربلة قبل طرحها. تغسل المواد المُزالة بالغربلة الداخلة إلى الأنبوب المائل، وينزع الماء منها، وتُرصّ وتُدمج على شكل سدادة صلبة مناسبة لطرحها في مقلب ردم النفايات. (رسم معدل لضاغط غسل حلزوني مصنع من قبل: Parkson Corporation)

تُستخدم التلافات والرحى الطاحنة في المحطات الصغيرة، حيث تُقطَّع المواد الصلبة في مياه الصرف لتصل أبعادها عبر الأداة إلى $\frac{1}{4}$ in. تقريباً (6 mm). تُركَّب مثل هذه الأدوات مباشرةً في قناة الانسياب وتُزوَّد بممر جانبيٍّ بحيث يمكن أن يُعزل المقطع الحاوي على التلافة ويُصفى من الماء لصيانة الآلة. لا تُستخدم عادةً الرحى الطاحنة مع غربال القضبان المنظَّف ميكانيكياً، لكنها، إن رُكِّبت، فإنها توضع على مسافة ما، بعد الغربال أو ضمن شبكة أنابيب الحمأة. وفي محطة معالجة صغيرة لمدينة، يمكن للتلافة أن توضع في جدول الانسياب. وفي مثل هذا النمط من الترتيب (شكل 11-4)، تتضمن قناة الممر الجانبي غربالَ قضبان يُنظَّف

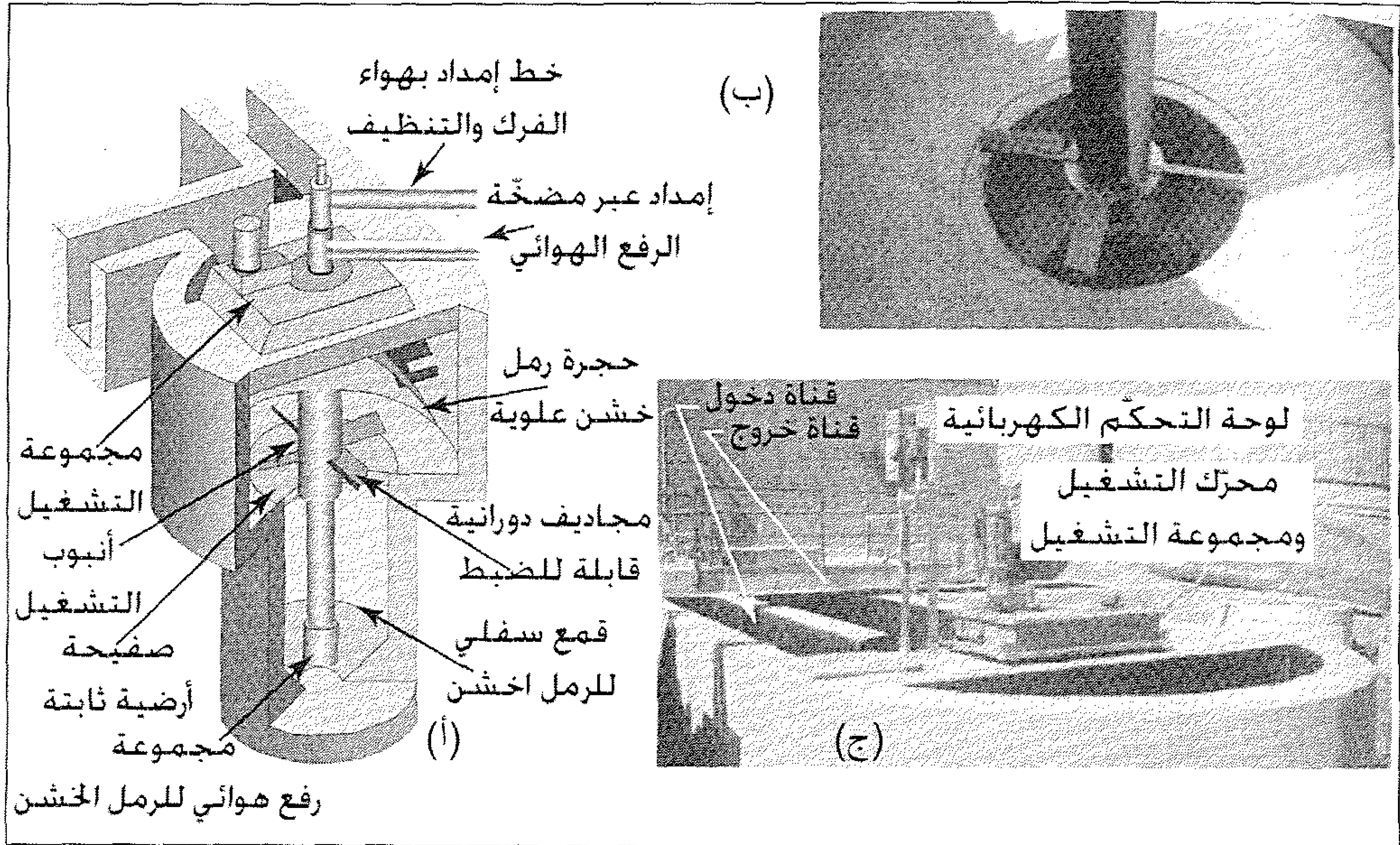
باليد للاستخدام في الطوارئ. تجهز القنوات بصمامات قاطعة، بحيث يمكن توجيه مياه الصرف عبر الغربال الثابت بينما تتم صيانة التلافة.

حجرات الرمل الخشن

يتضمن الرمل الخشن رملاً ومواد من جسيمات دقيقة ثقيلة كالحبوب وراسب القهوة، والتي تترسب من مياه الصرف عندما تنخفض سرعة الانسياب. وإن لم يُزل الرمل الخشن في المعالجة المبكرة يمكن أن يسبب في خزّانات الترسيب الأساسية استهلاكاً أكّالاً استثنائياً للأدوات الميكانيكية ولمضخات الحمأة، كما يمكنه أن يسبب انسداداً للأنابيب نتيجة ترسبه فيها، كما يمكنه أن يتراكم في خزّانات حفظ الحمأة والهاضمات. لقد صُمِّمت حجرات الرمل الخشن لإزالة الجسيمات المكافئة بحجمها للرمل الناعم، المُحدَّد بأنه جسيمات أقطارها 0.2mm وجاذبيتها النوعية 2.7، متضمنة حداً أدنى من المادة العضوية. لقد وُظفت مجموعة متنوعة من الأنظمة لذلك، وذلك اعتماداً على كمية الرمل الخشن في مياه الصرف، وحجم محطة المعالجة، والمبالغ المالية المخصصة للتركيب والتشغيل. تتضمن الحجرات المعيارية خزّانات ترسيب ذات شكل قناة، ووحدات تهوية ذات قيعان قمعية، وخزانات دوامية قسرية. يمكن للرمل الخشن الذي تم فصله أن يعالج لاحقاً في مغسل حلزوني للرمل الخشن أو في فارز إعصاري.

تتكون الحجرات الأولية القديمة من قناتين أو أكثر ضيقتين وطويلتين مبنيتين على التوازي مع وجود فراغ مناسب لحفظ الرمل الخشن. يوضع سد مناسب عند نهاية التصريف لتنظيم الانسياب بحيث يحافظ على سرعة أفقية قدرها 1.0 ft/sec مهما كانت كمية الانسياب. ما يسمح للرمل الخشن بالترسب موفّراً بالوقت نفسه سرعة فرك كافية لجرف المواد الصلبة العضوية المعلَّقة. تقوم دلاء كبيرة موجودة على السلسلة مستمرة الحركة بكشط المواد من القاع وجمعها في وعاء كبير مُلغية بذلك التنظيف اليدوي.

إن أكثر أنماط حجرات الرمل الخشن شيوعاً في محطات المعالجة الصغيرة هي الخزّانات القُمعية القاع، حيث يدخل الماء من أحد جانبيها وعلى الجانب المقابل يوجد سد للتدفق الخارج. والحجرة صغيرة وذات زمن احتفاظ قدره 1 min تقريباً لدى انسياب الذروة الساعيّة وغالباً ما يُمزج بتهوية منتشرة للإبقاء على المادة العضوية معلَّقة بينما يترسب الرمل الخشن. تتم إزالة المواد الصلبة من قعر القمع بواسطة مضخة رفع هوائية، ولولب ناقل أو مضخة نابذة.



شكل 11-9 وحدة دوامية قسرية لإزالة الرمل الخشن. (أ) تقوم الدوامة بتعليق المواد الصلبة العضوية بينما يترسب الرمل الخشن في الحجرة السفلى. تُستخدم مضخة رمل خشن لإزالة الرمل الخشن المترسب تمهيداً لغسله ثم نزع الماء منه ووضعه في قلاب لطرحه في مقلب ردم النفايات. (ب) صورة لحجرة الرمل الخشن العلوية يظهر المجاديف الدورانية. (ج) منظر خارجي لوحدة الرمل الخشن يظهر القنوات الداخلة والخارجة، مجموعة التشغيل، ولوحة التحكّم الكهربائية (رسم معدل لضاغط غسل حلزوني مصنع من قبل **Parkson Corporation**)

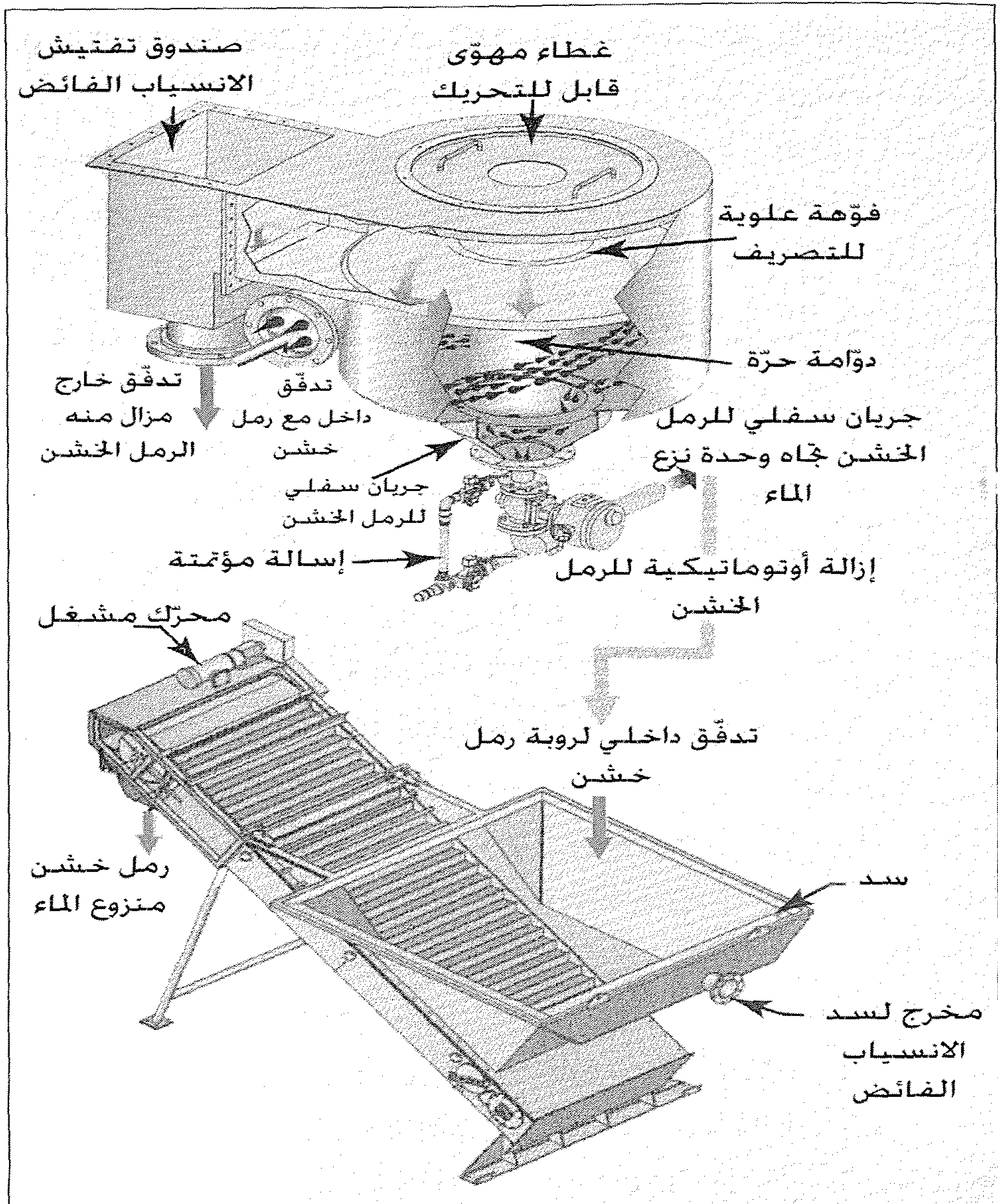
إن مروّقات الرمل الخشن، والتي تسمى أحياناً خزّانات الفُتات، تكون عادةً مربعة وذات سدود للتدفق بين الداخل والخارج، موجودة على طرفين متقابلين للخزان. يدفع ذراع كاشط، يُدار مركزيّاً، الرمل الخشن إلى القمع عند القاع لإزالته

بواسطة حفار لولبي. والمروِّق عبارة عن خزّان ضحل بزمن احتفاظ قصير أو حجرة مهوّاة عميقة لتحسين فصل الرمل الخشن في حين تنشط مياه الصرف الخام.

تستخدم وحدات رملية دوامية قسرية، القوة النابذة لتحسين اصطياد الرمل الخشن. يظهر الشكل 11-9 حجرة رمل خشن والمجاديف الميكانيكية المُستخدمة لتوليد دوامة. وفي أثناء تحريك الدوامة للمواد الصلبة تجاه المركز، تزيد المجاديف السرعة في المركز إلى حد يكفي لتعليق المواد العضوية الأخف وإعادتها إلى جدول مياه الصرف. يصبح الرمل الخشن في القُمع أكثف وينبغي كشطه بالهواء وإسالته بالماء والهواء كي يمكن ضخه من خلال القُمع السفلي للرمل الخشن.

إن معالجة الرمل الخشن عبر نزع الماء أمر حساس في أثناء إزالة الرمل الخشن وحماية المعدات. تتضمن معدات نزع الماء من الرمل الخشن الحفارات الحلزونية، والوحدات الدوامية الصغيرة المركَّبة على الحفرات الحلزونية، إضافة إلى تصنيف الصفات المميزة للرمل الخشن وأدوات نزع الماء منه.

ينقل الحفار الحلزوني الرمل الخشن نحو الأعلى. تغدو الأدوات أقل فاعلية بتقادمها وبتردّي الحفار الحلزوني والحوض. والأداة الظاهرة في الشكل 11-10 هي وحدة تصنيف يليها غربال نزع مياه لمعالجة الرمل الخشن. تُستخدم وحدة التصنيف دوامةً لنثر الرمل الخشن إلى الجزء الخارجي للمنطقة الحرة للدوامة وإلى الأسفل باتجاه مخروط الانسياب السفلي. تنساب مياه الصرف مع المواد العضوية نحو الأعلى عبر فتحة التصريف العلوية في المركز راجعةً إلى المعالجة. يجب أن يُسال الرمل الخشن مرةً أخرى بكميةٍ قليلةٍ من الماء وذلك قبل نزع الماء. تُستخدم معدات نزع الماء حزاماً ذا نتوءات يتحرك ببطء ليسمح للمياه بالارتشاح من الرمل الخشن، تدخل روبة الرمل الخشن إلى بركة هادئة يُحافظ عليها عبر سد فيضاني عند النهاية السفلية للوحدة. يحدث نزع الماء عندما يحمل الرمل الخشن إلى الأعلى تجاه قمة الوحدة حيث يكشط هناك عن نتوءات الحزام إلى قُمع طرح.



شكل 11-10: مخطط لتصنيف الرمل الخشن ولأداة نزع الماء. يحدث فصل الرمل الخشن بتأثير دوامة قسرية بحيث يُترَّب الرمل في مخروط الجمع. ويجبر الانسياب الخالي من الرمل على الصعود إلى الأعلى تجاه الانسياب الفائض. يسمح نزع الماء من الرمل الخشن للماء الحر أن ينساب عبر درجات النتوءات في أثناء نقل الرمل الخشن إلى الطرح. (موافقة معدات الرمل الخشن من .Eutek® SystemsTh, Inc)

تتباين كمية الرمل الخشن اعتماداً على ظروف المجرور المحلي، وعمره، والتربة المحمولة عبر الرشح. وكما هو الحال في الغربلة، لا يقوم مشغلو المحطة

بمراقبة كميات الرمل الخشن. يميل الرمل الخشن إلى الترسب في المجرور، وتزداد حمولة الرمل الخشن إلى محطة المعالجة فجأة عندما تزيد انسيابات مياه العواصف من سرعات المجرور ناقلة معها رملاً خشناً إضافياً. تقدم المعادلة 11-1 تقريباً لحمولة الرمل الخشن في أول دفقة، والتي تُستخدم في تحديد حجم أداة إزالة الرمل الخشن. إن هذا التركيز هو كمية الرمل الخشن التي يمكنها دخول محطة المعالجة بغض النظر عن نمط معدات الإزالة. يعطي استخدام Q مساوية لانسياب يوم ذروة، حمولةَ الرمل الخشن، والتي تُستخدم بدورها لتحديد أحجام معدات معالجة هذا الرمل.

$$\text{الرمل الخشن} = 670Q\left(\frac{PDWWQ}{ADQ} - 1\right) \qquad \textbf{(1-11)}$$

حيث:

الرمل الخشن = كميّة الرمل الخشن (lb/day)

Q = انسياب مياه الصرف (مليون mgd)

PDWWQ = انسياب يوم ذروة في طقس رطب

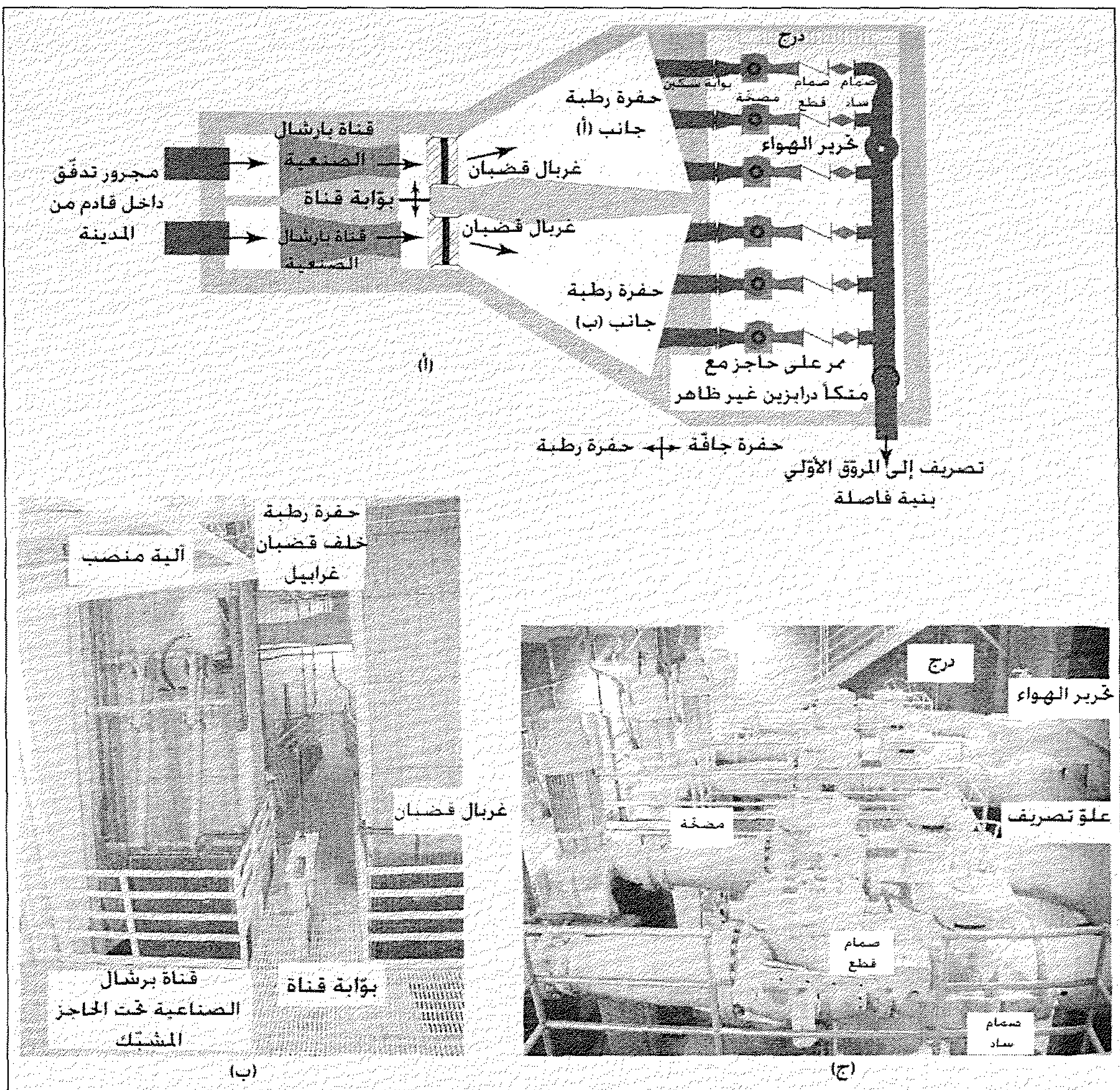
ADQ = متوسط الانسياب اليومي

3-11 محطات الضخ

إن محطات الضخ في محطات المعالجة الكبيرة ذات حجرتين رطبة وجافة مفصولة عن بعضها بعضاً بجدار مشترك، كما هو موضح في الشكل 11-11. تنساب مياه الصرف الخام، بعد القياس والغربلة، إلى الحفرة الرطبة، حيث تقع أنابيب السحب قرب أسفل الحفرة منعاً لترسب المواد الصلبة. يحافظ التحكّم الأوتوماتيكي الناظم لتشغيل المضخة، على منسوب الماء ما بين المناسيب المحدَّدة مسبقاً. وعند خط العلام العلوي تكون كل المضخات قيد التشغيل، باستثناء الوحدات البديلة. وعند المنسوب السفلي يقوم التحكم بإيقاف المضخة الأخيرة قبل أن تقوم بسحب الهواء إلى جزء السحب في المضخة. إضافة إلى مياه الصرف الداخلة، تقوم خطوط الصرف وإعادة التدوير بإعادة مياه الصرف إلى الحفرة الرطبة. وتحتوي هذه المياه على المواد الطافية القادمة من الهاضمات، والرشاحة القادمة من تثخين الحمأة ونزع الماء منها،

والانسياب السفلي القادم من المروّقات الثانوية في المحطات التي تحوي مرشح تقطري، وتصريف المباني عبر كامل المحطة. تعتمد الطاقة الفعَّالة للحفرة الرطبة للمضخات ثابتة السرعة على عدد إقلاعات المضخة وعلى طاقة أصغر محطة. وفي محطات الضخ متغيرة السرعة، يجب أن تكون الحفرة الرطبة كبيرةً إلى حد يكفي فقط للحفاظ على تحكمٍ سليم بالمضخة. تحافظ حفرة رطبة صغيرة على إبقاء مياه الصرف ممتزجةً ومتحركةً عبرها بسرعات مختلفة وذلك تخفيفاً لتراكم المواد الصلبة المترسبة والطافية. ولكن إن كان زمن الاحتفاظ قصيراً جداً، فإن تناوب الإقلاع والتوقف يزيدان من الاستهلاك الميكانيكي للمضخة ومن حرارة محركات التشغيل. ولتحقيق أفضل أداء، تحت أيّ مجموعة من قيم الانسياب والضخ، فإنه ينبغي أن لا تزيد دورة التشغيل لكل مضخة على 6 إقلاعات بالساعة، أو حوالى كل 10 min، وبزمن احتفاظ أقصى لمياه الصرف في الحفرة الرطبة قدره 30 min. وللإيفاء بهذه المتطلبات، يتم التنسيق ما بين انتقاء مضخات منفردة ومناسيب مياه التشغيل في تصميم حفرةٍ رطبة.

يمكن تركيب مضخات نابذة لمياه الصرف المتموضعة في الحفرة الرطبة بحيث يكون عمود تشغيلها أفقياً أو شاقولياً. ولوضع المحرّك فوق الحفرة الرطبة أو في صندوق عازل للمياه، مزيّة الوصول إليه للصيانة والوقاية في حال فاضت الحفرة الجافة بحادث مفاجئ. تُركَّب مضخة منفصلة في حوض تجميع الحفرة الجافة، غير أن استطاعتها محدودة، وتقتصر على إزالة التسرب أو التصريف الأرضي الذي يدخل إلى الحفرة. يُصمّم موقع المضخة تحت المنسوب المنخفض للمياه في الحفرة الرطبة للإقلاع الأوتوماتيكي. توضع صمامات مناسبة على خطوط السحب وخطوط التصريف لكل مضخة بحيث يمكن نزع مضخات منفردةً للصيانة. إن الصمام القاطع أساسيٌّ في خط التصريف ما بين صمام التوقف والمضخة، وذلك لمنع مياه الصرف من الانسياب المرتدة عبر المضخة عندما لا تكون رهن التشغيل. يتطلب الأمر تهويةً ميكانيكيةً مستقلةً للحجرات الرطبة والجافة، حتى وإن لم تكن هذه الأخيرة مُغطاة. يتم تعليم مفاتيح التشغيل ووضعها بأمكنة مناسبة. وإذا كان نظام التهوية متقطعاً وليس بمستمر، تكون المفاتيح الكهربائية موصولةً بنظام إنارة الحفرة. تتضمن التصاميم الجديدة مستشعرات تكشف عن وجود جو متفجر أو عن خلو الحفرة الرطبة من الأكسجين.



شكل 11-11: رسم لمحطة ضخ مياه صرف خام. (أ) منظر لمخطط يظهر حفرة رطبة وأخرى جافة منفصلتين. جدران الحفرة مغلفة بمواد مبطنة بلاستيكية لمنع تآكل الجدران البيتونية. تحتوي الحفرة الرطبة معدات قياس انسياب، وغرابيل قضبان، وحفرة رطبة منفصلة. خلال الانسيابات المتدنية، يمكن سحب كل نصف من نصفي الحفرة الرطبة من الخدمة للتنظيف. تحوي الحفرة الجافة على المضخات والصمامات وشبكة أنابيب التصريف. (ب) صورة لغرابيل القضبان ومنظر باتجاه الحفرة الرطبة. (ج) صورة للحفرة الجافة، ومحركات الضخ، والمضخات، وصمام قطع، وصمام سادّ على كل تصريف. يسمح صمام تحرير الضغط الموجود على التصريف بانبعاث أيّ هواء حبيس. (الصور ملتقطة في محطة المحافظة على الماء في فيساليا، كاليفورنيا)

يتطلب الأمر وسائل آمنةً للوصول إلى الحفرة الجافة وكذلك الحفرة الرطبة الحاوية على معداتٍ ميكانيكية، وذلك إما بواسطة درج أو سلم قفصي بحيث تكون نهاية كل مرحلة منه 10 ft على الأقل. تُركَّب أجهزة إنذار لإشعار موظفي المحطة

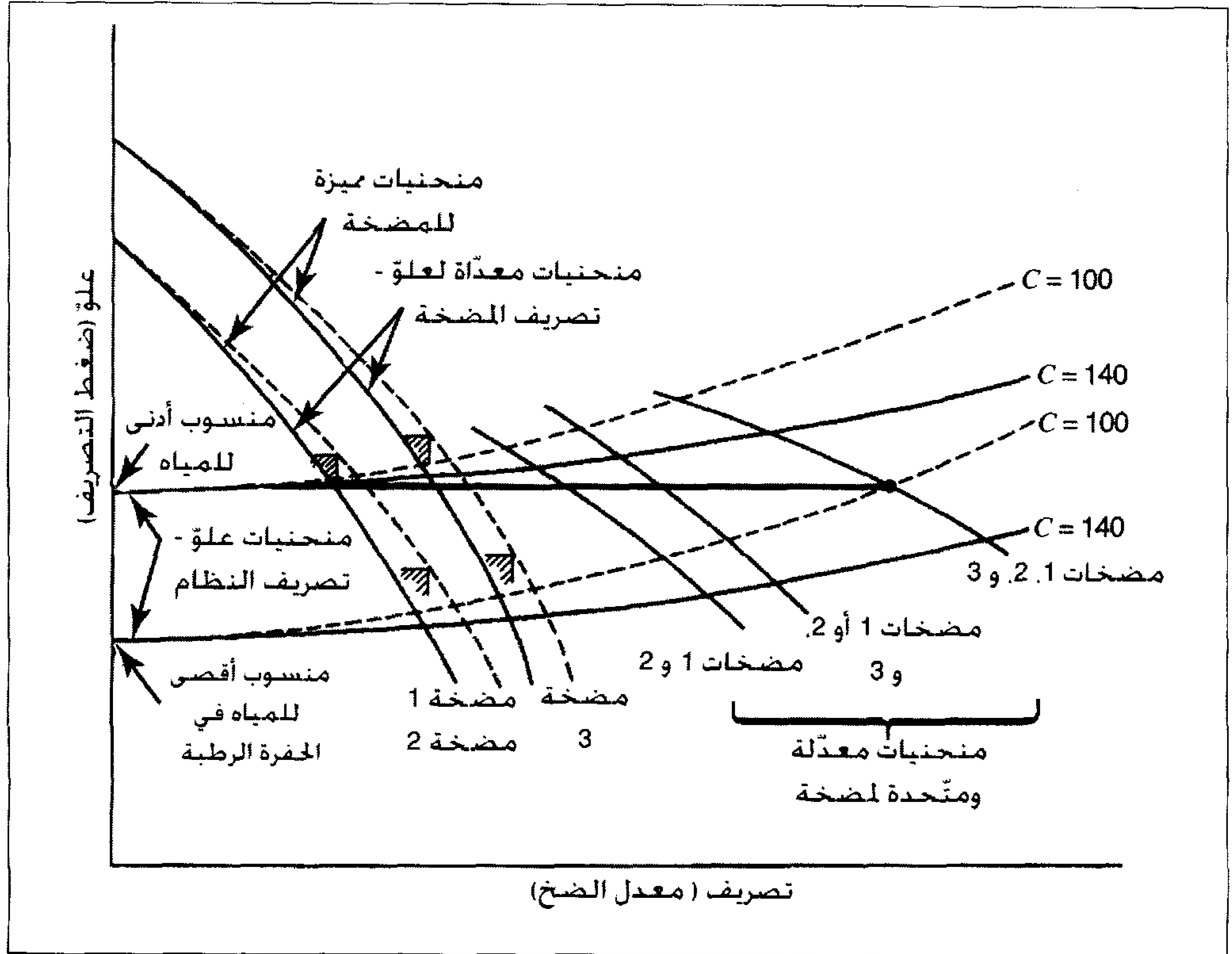
بتعطل المضخة أو بوجود بيئة معادية. يتم التزويد بطاقة طوارئ باستخدام خطَي طاقة أو بواسطة مولِّد يعمل بدوران المحرّك ومزود بمعدات تضمن التشغيل والإطفاء الأوتوماتيكيين وذلك لتحويل الحمولة من أحد أنظمة المنشأة إلى مصدر بديل في حال حدوث عطل.

تُصمّم المضخات النابذة المُستخدمة في رفع مياه الصرف الخام بحيث تكون سهلة التنظيف والإصلاح ومزودة بدفّاعات مفتوحة لتخفيف مخاطر الانسداد. معظمها مصنوع بفتحات وأغطية يمكن إبعادها وإدخال اليد إلى الجزء الداخلي للمضخة. يعتمد عدم حدوث انسداد على نوع الدفّاع، وشكل الغلاف الخارجي للمضخة، وعلى مساحة الفراغ ما بينهما في أثناء التشغيل. يتم عادةً صنع الدفّاع من ريشتين أو ثلاث فقط، موضوعتين بين صفيحتين متوازيتين بحيث يمرّ أيّ جسم يدخل إلى المضخة بينهما. يعتمد عدد المضخات المركَّبة على استطاعة المحطة ومجال الانسياب. تساوي استطاعة الضخ الكلية المعدل الأعظمي للتدفُّق الداخل أو تتجاوزه، وبحيث تكون أكبر مضخة خارج الخدمة. وللإيفاء بتغيرات الانسياب، يكون العدد الأدنى للمضخات ثلاثاً أو أكثر ولها القدرات المتغيرة نفسها. وفي المحطات الصغيرة التي يكون فيها انسياب الذروة أقل من 1.0 mgd، يمكن تركيب وحدتين، كل منهما قادرة على الإيفاء بالتدفق الداخل الأقصى. قد تكون المضخات ثابتة السرعات أو متغيرة السرعات. لقد نوقشت خصائص المضخات النابذة في الفقرة 4-4، كما شرحت منحنيات علوّ النظام في الفقرة 5-4.

المضخات ثابتة السرعات

تقوم محطة ضخ نموذجية برفع مياه الصرف من الحفرة الرطبة لتصريفها إلى خزّان مفتوح، والذي يكون عادةً حجرة رمل خشن أو بنية موزعة. يتم تقدير علوّ الضخ من خلال العلوّ الستاتيكي (منسوب الماء عند التصريف مطروحاً من منسوب الحفرة الرطبة) يضاف إليه العلوّ الديناميكي (علو الاحتكاك في شبكة أنابيب التصريف). ونظراً إلى أن منحنيات النظام تتضمن فقط فقود العلوّ في شبكة

الأنابيب القادمة من العلوّ المشترك إلى حوض التصريف، يمكن تعديل المنحنيات المميزة للمضخة كي تعدّل الفقود في خطوط السحب والتصريف لمضخة منفردة. ويمكن اعتبار هذه المنحنيات المعدلة باعتبارها منحنيات العلوّ -التصريف للمضخة. ويظهر الشكل 11-12 مخططات هذه المنحنيات لمحطة ذات أربع مضخات (لها الحجم نفسه).



شكل 11-12: منحنيات علوّ - تصريف لثلاث مضخات ثابتة السرعة

لقد تم تعديل المنحنيات المميزة للمضخّة، وتحيط بالتالي منحنيات علوّ - تصريف النظام بمجال التشغيل الأدنى - الأقصى.

يجب أن تشتغل المضخات في مجال يمتد من الانسياب المتدني لليوم عندما تكون الأنابيب جديدة، إلى الانسياب الأقصى المستقبلي عندما تكون الأنابيب قديمة.

ينبغي انتقاء المضخات بحيث تكون نقطة أدائها المثالي قريبةً من انسياب وعلوّ التشغيل العادي. لقد رسمت في الشكل 11-12 مجموعتا منحنيات علوّ النظام، حيث تمثِّل خطوط C = 140 الحالة التي تكون فيها شبكة الأنابيب جديدة، وخطوط C = 100 تمثِّل أنابيب حديد لدن عمرها 20 عاماً. عندما يكون الضخ باستطاعته القصوى، يكون منسوب الماء في الحفرة الرطبة في أقصى ارتفاع له وتكون المضخات الثلاث قيم التشغيل. وتكون المقاومة القصوى للانسياب على امتداد المنحني الأسفل لعلوّ – تصريف النظام والذي يرمز له بـــ C = 100، ولذلك تقع نقطة التشغيل عند تقاطع منحني المضخات المتحد للمضخات 1، 2 و3 ومنحني النظام لقيمة C = 100. يحدّد خط أفقي رُسم عبر نقطة التقاطع هذه، نقاط التشغيل على المنحنيات المعدلة للمضخة. وبعد ذلك، وبرسم خطوط شاقوليّة إلى المنحنيات المميزة للمضخة، يمكن تحديد معدلات الضخ لدى العلوّ الأقصى المتوقع، وفقاً لما هو مُشار إليه بالزوايا المظللة. ولدى استطاعة الضخ الدنيا، يكون منسوب الماء في الحفرة الرطبة لدى الارتفاع الأقصى، وتعمل المضخات بشكل منفرد تحت أدنى منحني لعلوّ النظام بقيمة C = 100. وتقع نقاط تشغيل المضخة عند تقاطع المنحنيات المعدَّلة للمضخة مع منحني C = 140. ومن هذه النقاط يتم رسم شاقولي لتحديد مواقع معدلات الضخ الدنيا المُشار إليها بالزوايا المظللة على المنحنيات المميزة للمضخة.

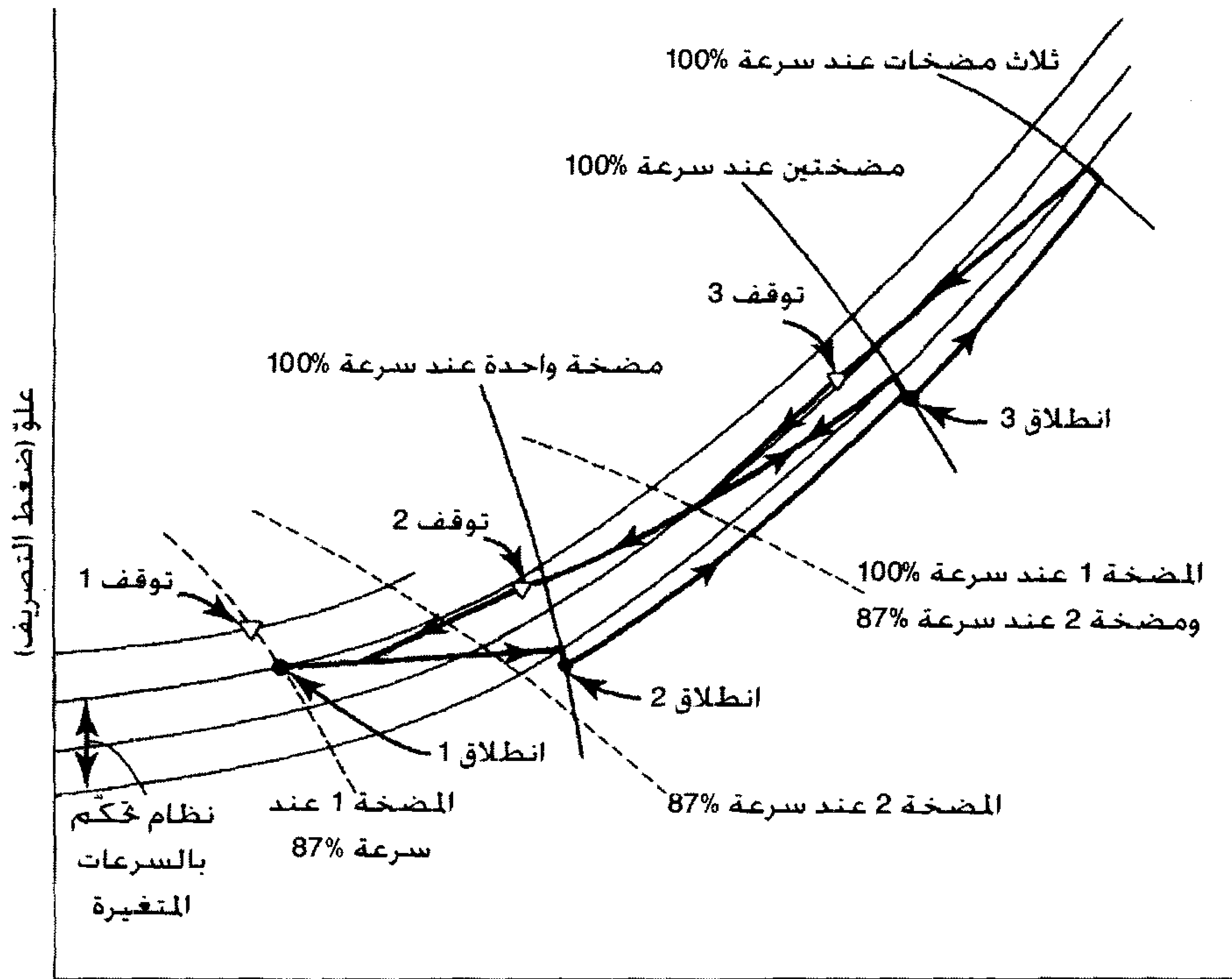
مضخات السرعات المتغيرة

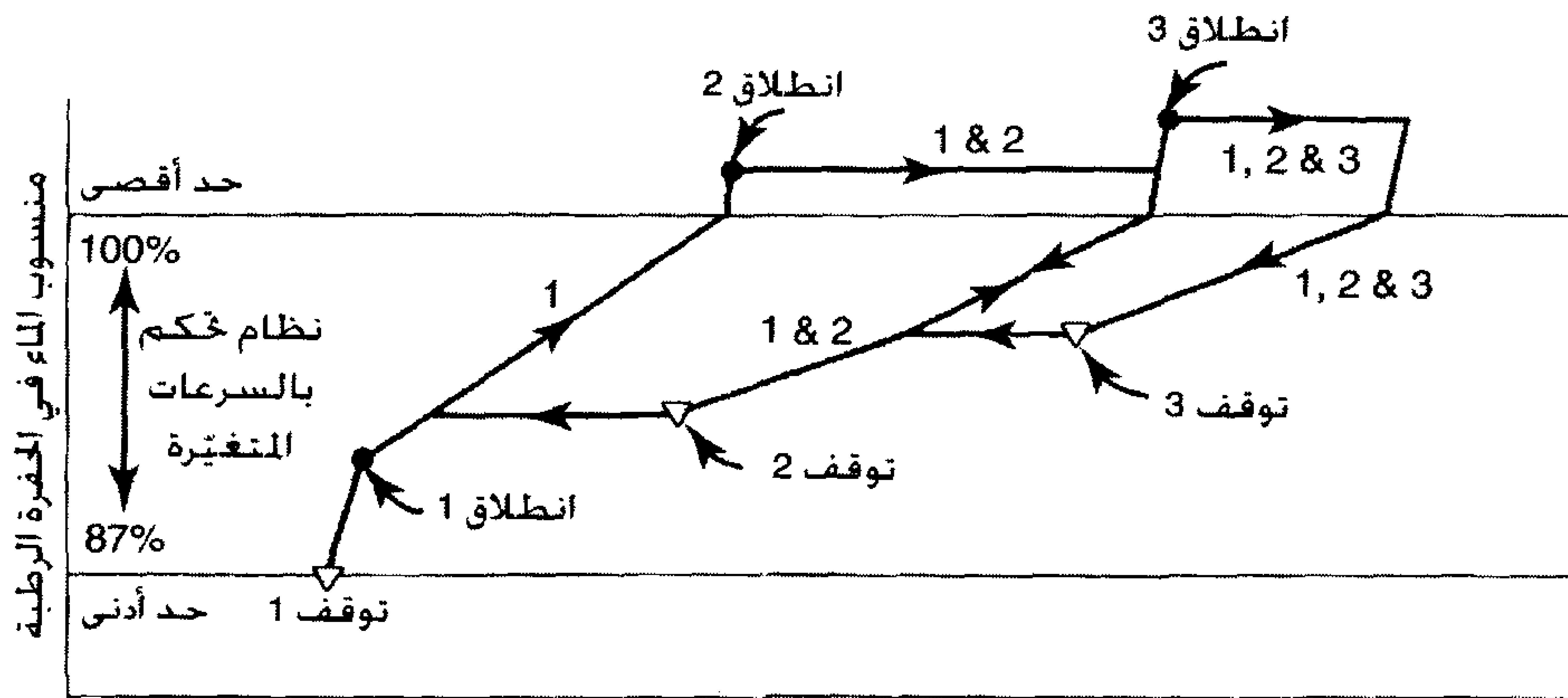
يظهر الشكل 11-13 تحليلاً بيانياً لمحطة ضخ نموذجية باتحاد مضختين مختلفتي السرعة مع مضخة ثابتة السرعة. ولكل المضخات الثلاث هذه إضافة إلى محطة بديلة متغيرة السرعة، منحنيات مميزة متطابقة، بحيث يمكنها العمل على التوازي باتحادات متناوبة. يبلغ تخفيض السرعة بهدف التصريف لدى الاستطاعة الدنيا المطلوبة 87% من السرعة القصوى. تبدأ المضخة الأولى متغيرة السرعة

بالعمل عندما يصل منسوب الماء في الحفرة الرطبة إلى (انطلاق 1) (شكل 13-11أ). فإذا تجاوز معدل الضخ الانسياب الداخل، ينخفض منسوب الماء إلى المنسوب الأدنى وتتوقف المضخة عند (توقف 1). ومن جانب آخر، إذا استمر الانسياب الداخل بالارتفاع، فستزداد سرعة المضخة إلى 100%. وإذا استمر تصريف الضخ بالارتفاع، تنطلق المضخة رقم 2 (انطلاق 2) وتعمل المضختان 1 و2 بالتوازي وبالسرعة نفسها. وعندما تنطلق المضخة 3 ذات السرعة الثابتة، يساهم تصريف المضختين ذواتي السرع المختلفة في ضخ التصريف المتبقي.

وأخيراً، ولدى انسياب تصميم أقصى تعمل كل المضخات بسرعة قصوى. ويربط الخط البياني المستقيم في الشكل (11-13ب) تصريف المضخات بسرعاتها ومناسيب الماء في الحفرة الرطبة. ونظراً إلى كون أكفأ تشغيل للمضخة يكون لدى أعلى سرعاتها، فإن الحفاظ على أقل عدد من المضخات قيد التشغيل يعتبر مزيّةً اقتصادية. وعلى ذلك، مع تناقص معدلات الانسياب تتوقف المضخات بأسرع ما يمكن. ولمنع المضخات من الإقلاع والتوقف المتناوبين في أثناء انخفاض الانسياب الداخل، يتم تخفيض سرعات المضخة إلى أقل من 100% لدى تصريف أقل بقليل من معدل الانسياب الداخل. وتتم معالجة الارتفاع الطفيف في منسوب الماء بزيادة سرعة المضخات العاملة، لا بإعادة تشغيل المضخة المتوقفة. فمثلاً، عندما تتوقف المضخة رقم 3، تعمل المضختان رقم 1 و2 بسرعةٍ قدرها 94% من السرعة القصوى.

بعد ذلك ومع ارتفاع المنسوب، تزيد هاتان المضختان من سرعتيهما إلى قيمة أقل من القيمة القصوى نوعاً ما، كي تجاريان استطاعة توقُّف المضخة رقم 3. إن الهدف هو الوصول إلى استطاعة كافية تتراوح ما بين توقُّف المضخات وتشغيلها، وذلك لمنع التأرجح ما بين معدل بدء الضخ ومعدل توقفه.

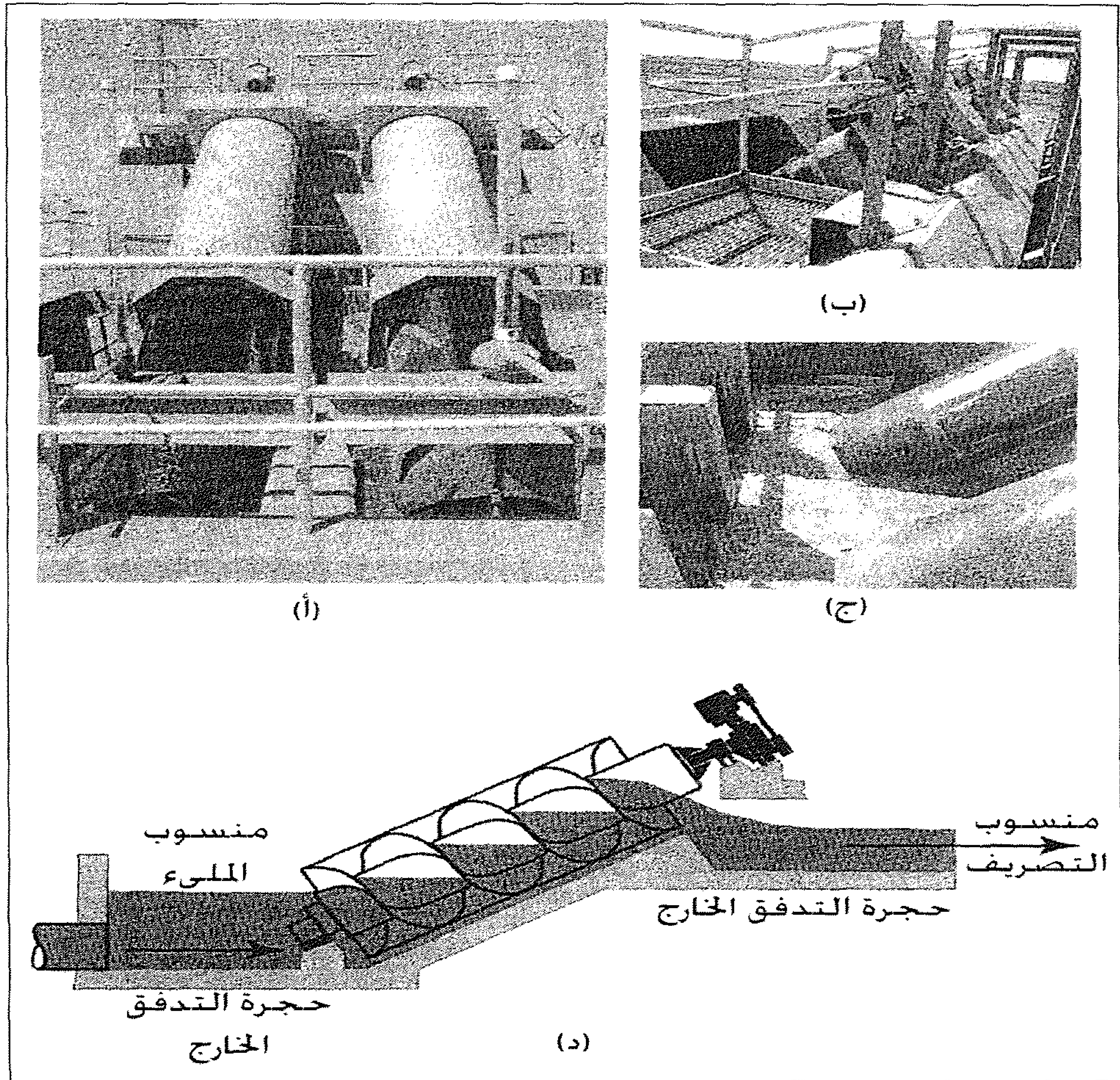




شكل 11-13: مخططات التشغيل لمحطة ضخ مياه صرف ذات مضختين مختلفتي السرعة ومضخة واحدة ذات سرعة ثابتة يتم التحكم بها بواسطة منسوب حفرة رطبة. (أ) منحني علوّ نظام مع مخطط متراكب لمشغل المضخة. (ب) مخطط خط مستقيم يربط ما بين تصريف المحطة وسرعات المضخة ومناسيب الماء في الحفرة الرطبة

المضخات اللولبية

المضخة اللولبية هي ناقل حلزونيٌّ دوراني يدفع مياه الصرف نحو قمة حوض مائل موصلاً إياها إلى ارتفاع أعلى، كما هو بادٍ في الشكل 11-14. إن المزيّة الرئيسة في ذلك هي الطيف الواسع من انسيابات يمكن ضخها بكفاءة بسرعة دوران ثابتة. كما إنها عند استخدامها لضخ الحمأة المنشطة المُدوَّرة، فإن الإضطراب المخفف مقارنةً بالمضخات النابذة سيمنع تفكك الكدرة الحيوية.



شكل 11-14: محطة ضخ تُستخدم مضخة لولبية لرفع مياه الصرف. (أ) صورة لمضخات لولبية مُحتَضنة (ب) مدخل إلى مشغل المحرك في قمة المضخة.(ج) حجرة التدفق الداخل في أثناء التشغيل. (د) مخطط يظهر مقطعاً لمضخة لولبية (الصور ملتقطة في محطة معالجة مياه الصرف في California ، Woodland)

تتضمن عيوب هذه المضخات استهلاكاً عالياً للطاقة لدى الانسيابات المنخفضة وانطلاق روائح كريهة نتيجة الاضطراب. ومنسوب الملء (شكل 11 - 14) هو مقدار العمق في حجرة التدفق الداخل، وذلك عندما تعمل المضخة اللولبية بأقصى استطاعة، وأفضل كفاءة، وأعلى استهلاك للطاقة. فإن ارتفع المنسوب تبقى الاستطاعة كما هي، إلا أن الكفاءة تتراجع. أما إذا هبط المنسوب إلى ما دون نقطة الملء، فإن كلاً من الاستطاعة والكفاءة سينخفضان. تُحاط بعض المضخات اللولبية بالأنابيب لزيادة كفاءة الضخ والسماح بسرعات متزايدة للمضخة. تتراوح ارتفاعات الرفع العملية للمضخات اللولبية ما بين 6 ft إلى 30 ft (2 m إلى 10 m)، وذلك بزيادة قطر اللولب من .in 12 إلى .in 144 (0.3 m إلى 3.7 m) بالتناسب مع الارتفاع. يتناسب القطر مباشرة مع استطاعة الضخ. إن أفضل سرعة هي أعلى معدل ممكن للدوران بدون أن تفيض مياه الصرف على عمود اللولب في الحجرة السفلى. يتم تصنيع اللوالب بدورة أو دورتين أو ثلاث (لولب مفرد، لولب مزودج، لولب ثلاثي). والدورة المفردة هي لولب يدور 360° عبر مسافة طولية على امتداد عمود اللولب قدرها قطر اللولب. تزداد استطاعة تصريف اللولب بزيادة عدد الدورات. ولدى القطر نفسه فإن استطاعة لولب ثنائي الدورة تبلغ تقريباً 80% من استطاعة لولب ثلاثي الدورة.

4-11 الترسيب

يتم إنجاز الترسيب والذي يدعى غالباً الترويق في خزّانات مستطيلة أو دائرية حيث يحافظ على مياه الصرف هادئةً للسماح لدقائق (Particulate) المواد الصلبة بالانفصال عن المعلّق. ولتجنب انقطاع الانسياب والاضطرابات الهيدروليكية في الخزان، يدخل الانسياب خلف المصدات لتخفيف سرعة الدخول. يتم ترتيب سدود الفائض بالقرب من قناة التدفق كي تؤمن انسياب تدفُّق متجانس. ويمنع تصريف المواد الطافية مع فيضان السائل بوضع مجداف أمام السد. وتقوم كاشطة بجمع وتكديس الزبد في حفرة خلف الخزان. تتحرك الحمأة المترسبة ببطء نحو المخروط القُمعي في قاع الخزّان بواسطة ذراع جمع. يمكن للمروّقات التي تلي تهوية الحمأة المنشطة أن تزوّد بأنابيب جمع هيدروليكية لإعادة تدوير الحمأة بسرعة. إن قرائن تحديد أحجام معدل

حمولة السد، معدل الانسياب الفائض (معدل ترسيب السطحي)، عمق الخزان عند الجدران الجانبية، وزمن الاحتفاظ. يعرف معدل الترسيب السطحي بأنه متوسط الانسياب الفائض اليومي مقسوماً على المساحة السطحية للخزان معبّراً عنه بعدد الغالونات في اليوم لكل قدم مربع (أمتار مكعَّبة لكل متر مربع باليوم)، المعادلة 11-2. تُحسب المساحة باستخدام الأبعاد الداخلية للخزان، بغض النظر عن حفرة التهدئة المركزية أو أحواض السدود الداخلية. تساوي كمية الانسياب الفائض من المروِّق الأساسي لتدفُّق مياه الصرف الداخل، نظراً إلى أن حجم الحمأة المسحوبة من قعر الخزان مهملة. غير أنه قد يكون في خزّانات الترسيب الثانوية إعادة تدوير تقوم بسحب السائل من قعر الخزان، ومثال ذلك إعادة تدوير الحمأة المنشطة، وهي حالة يساوي فيها الانسياب الخارج، الانسياب الداخل مطروحاً منه انسياب إعادة التدوير. ولذلك، يُستخدم الانسياب الخارج لحساب الانسياب الفائض، ويُستخدم الانسياب الداخل (والذي يتضمن إعادة التدوير) لحساب زمن الاحتفاظ.

$$V_0 = \frac{Q}{A} \qquad \textbf{(2-11)}$$

حيث

V_0 = متوسط الانسياب الفائض (معدل الترسيب السطحي)، غالون في اليوم لكل قدم مربع (أمتار مكعبة لكل متر مربع باليوم)

Q = انسياب التصميم اليومي، غالون في اليوم (أمتار مكعبة باليوم)

A = المساحة السطحية الكلية للخزان، أقدام مربع (أمتار مربعة)

يحسب زمن الاحتفاظ من خلال تقسيم حجم الخزان على انسياب التدفق الداخل مُعبَّر عنه بالساعات، المعادلة 11-3. وعددياً، هو الزمن اللازم لملء الخزان بمعدل متجانس مكافئ لانسياب التصميم. يؤخذ عمق الخزان على أنه عمق الماء على الجدران الجانبية مقاساً من قعر الخزان باتجاه قمة سد الانسياب الفائض وهذا يستبعد العمق الإضافي الناتج عن الميل الطفيف في كل من المروِّقين الدائري

والمستطيل. يتباين عمق المروّق لكل من المرشحات الأولي، والأوسط والحيوي وللمروّقات الثانوية للحمأة المنشطة.

يمثّل زمن الاحتفاظ توازناً ما بين معدل الانسياب الفائض وعمق المروّق. وتساوي حمولة سد التدفق الخارجي كمية المتوسط اليومي للفائض مقسوماً على الطول الكلّي للسد، مُعبَّراً عنه بعدد الغالونات في اليوم لكل قدم خطي (أمتار مكعَبة بالمتر باليوم)

$$t = 24\,\frac{V}{Q} \qquad \textbf{(3-11)}$$

t = زمن الاحتفاظ بالساعات

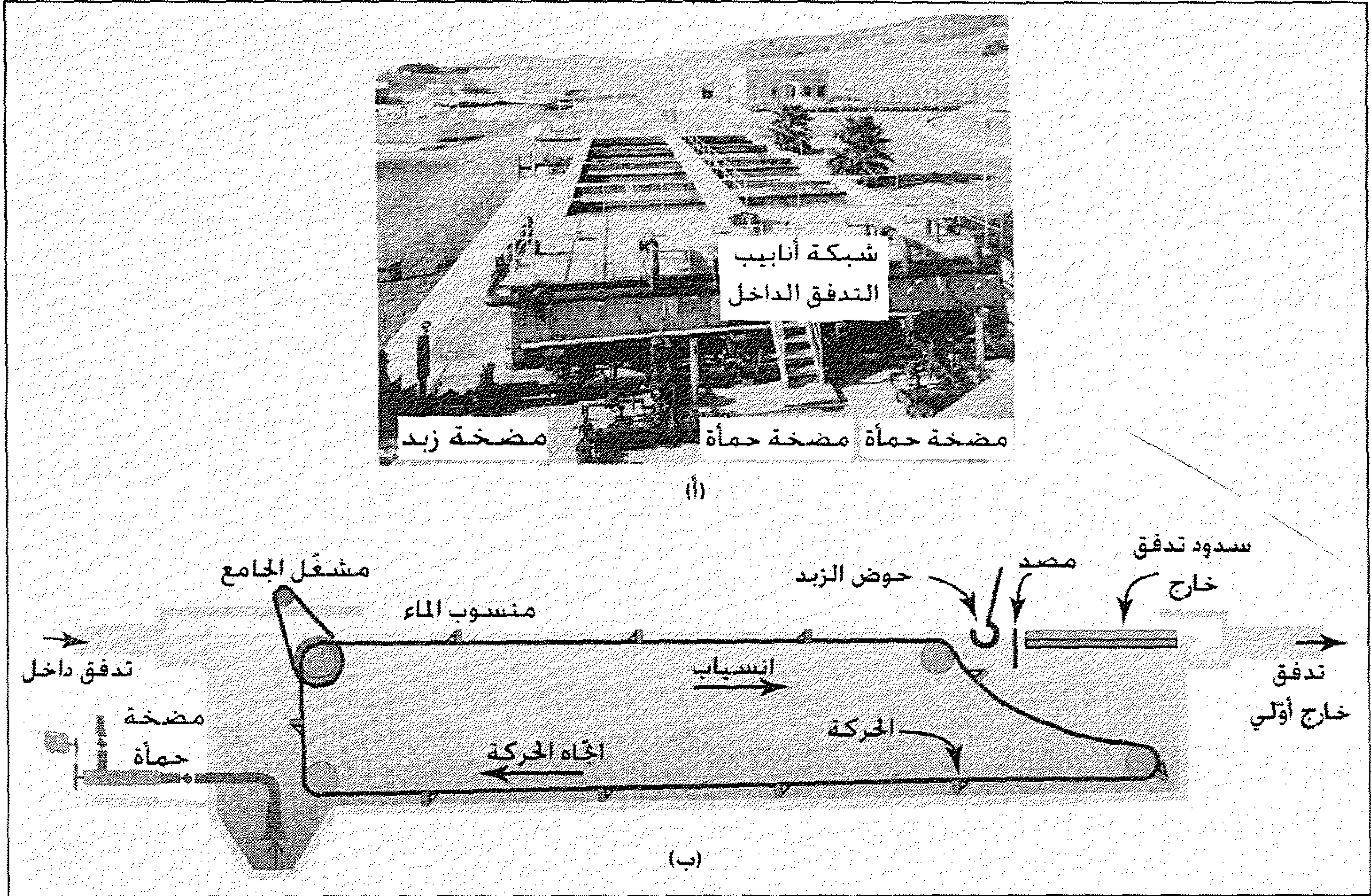
V = حجم الخزان، ملايين الغالونات (ملايين الأمتار المكعبة)

Q = انسياب التصميم اليومي، ملايين الغالونات في اليوم (ملايين الأمتار المكعبة باليوم)

24 = عدد الساعات باليوم

المروّقات الأولية

تسمى خزّانات الترسيب التي تتلقى مياه صرف قبل المعالجة الحيوية، الخزّانات الأولية. يظهر الشكل 11-15 خزاناً مستطيلاً. تدخل مياه الصرف الخام عبر عدد من البوابات قرب السطح وعلى امتداد إحدى نهايات الخزان. يقوم مصدّ قصير بتخفيف سرعة التدفق الداخل موجهاً الانسياب نحو الأسفل. يتحرك الماء بمعدل سرعة منخفض ويُصرف من النهاية المقابلة بفيضانه فوق عدد من السدود حول حوض التجميع. يتم كشط المواد الصلبة المتراكمة إلى وعاء قمعي عند فتحة الدخول بواسطة درجات متحرّكة من الخشب الأحمر أو البلاستيك مرتبطة بسلسلة تدور بلا توقف حول عجلة مسننة، يتم سحب الحمأة من المخروط القُمعي دورياً لطرحها. يبرز الجزء العلوي من الدرجات المتحرّكة خلال سطح الماء، دافعاً المواد الطافية إلى كاشط يقع أمام السدود.



شكل 11-15: مروّق أولي مستطيل. (أ) صورة من نهاية التدفق الداخل إلى المروّق يظهر مضخات الزبد، مضخات الحمأة، وشبكة الأنابيب المرافقة في محطة معالجة مياه الصرف (منطقة ريّ إلدورادو، **El Dorado Hills WWTP,** ،**California**). مقطع طولي للمروّق المستطيل. يكشط جاع الحمأة المواد الصلبة المتراكمة إلى القمع المخروطي لدى النهاية التدفق الداخل إلى المروّق. يدفع الجزء العلوي من الدرجات المتحرّكة المواد الطافية إلى حوض الزبد، حيث تُزال بواسطة الضخ. وفي بعض المحطات تُستخدم مضخات الحمأة لضخ الزبد عبر تغيير الصمامات عازلة بالتالي شبكة أنابيب الحمأة والزبد

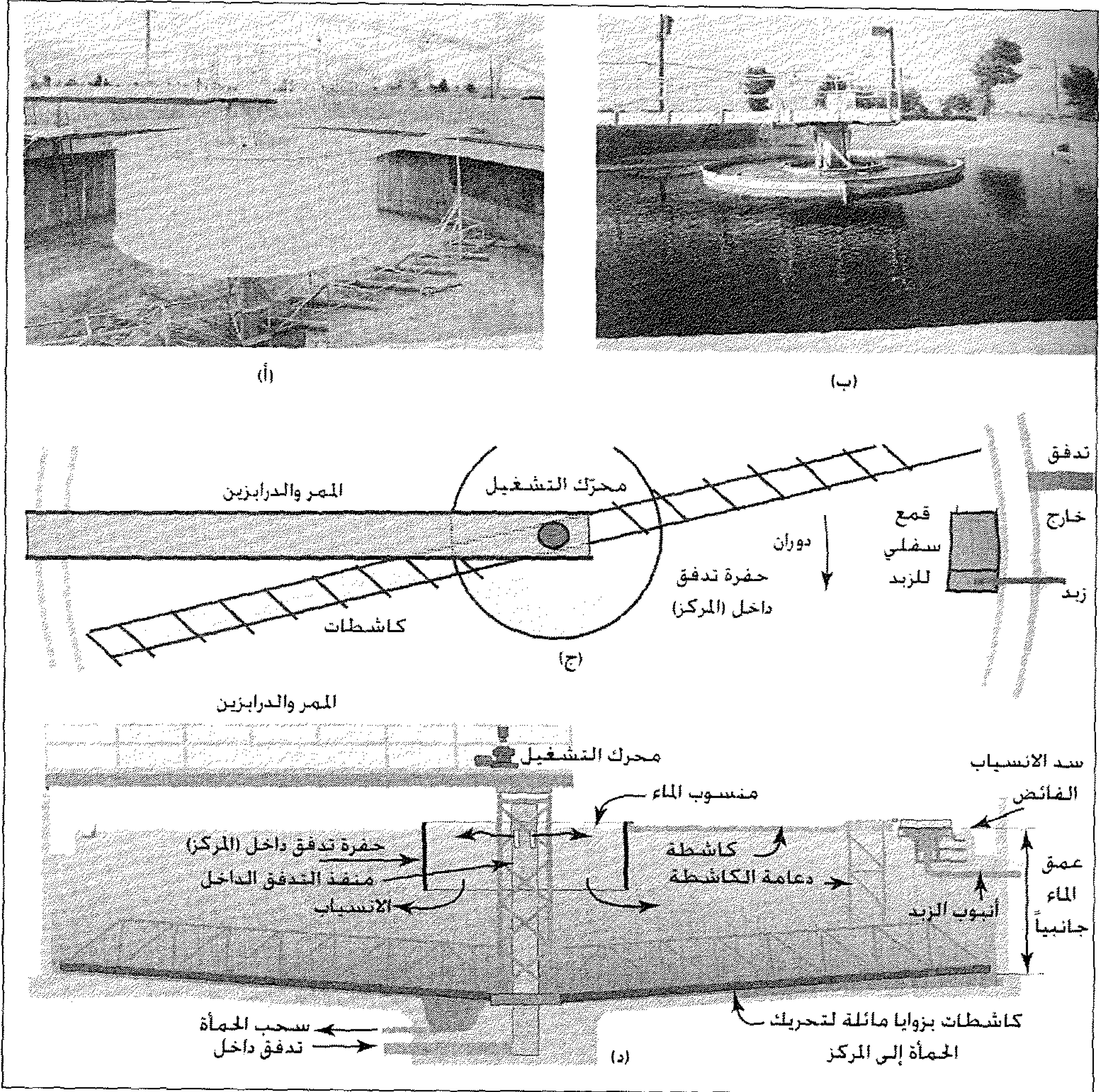
وحوض الزبد عبارة عن أنبوب أسطواني مع فتحة شقِّية على امتداد القمة. وعندما يدور الحوض يدوياً أو شاقولياً، ينساب الزبد المتجمّع على السطح عبر الشق إلى داخل الأنبوب والذي يميل نحو حفرة الزبد. تتباين نسبة طول الخزّان المستطيل إلى عرضه ما بين 1:3 إلى 1:5. يتراوح العرض ما بين 10 ft إلى 20 ft (3 m إلى 6.1m) تبعاً لامتداد الدرجات. ويكون العمق عادةً بحدود 7ft إلى 8ft، (2 m إلى 2.5 m). أما القاع فذو ميل لطيف باتجاه قمع الحمأة المخروطي. تقوم مضخات الحمأة بسحب الحمأة من قاع المروّقات بفواصل زمنية محدّدة مسبقاً. وعندما لا تُستخدم الأحواض التثخين بالثقالة، يُسمح للحمأة بالتراكم في المروّقات

لتُضخ من هناك مباشرة إلى الهاضمات أو إلى معدات نزع الماء. يصرف محتوى صناديق الزبد إلى مضخات الحمأة بحيث يمكن للزبد أن يُطرح مع الحمأة. وعندما تُركَّب المروّقات تحت الأرض، عندها يجب أن توضع مضخات الحمأة في حفرة جافة وتُغطّى عادةً لمنع تراكم الفتات عليها. وفي المناخات الباردة، توضع المضخات ضمن إطار يُبنى لحمايتها من التجمد. يظهر الشكل 11-16 مشاهداً لمروّقات أولية حلقية. تدخل مياه الصرف الخام عبر بوابات موجودة في قمة الأنبوب الشاقولي المركزي إلى مركز مصدّ الحفرة، ثم تنساب شعاعياً إلى سد محيطي للتدفُّق الخارج. توجّه الحفرة المركزية الانسياب نحو الأسفل لتخفيف انقطاع الانسياب عبر القمة. يقوم جامع دوراني بطيء الحركة بجرف المواد الصلبة المترسبة إلى نحو موقع سحب الحمأة في قعر الخزان.

يقوم مصدٌّ موجود أمام السد بمنع تصريف المواد الصلبة الطافية والمرتحلة باتجاه حافة الخزان. تقوم كاشطة ملحقة بالذراع بجمع الزبد من السطح ودفعه للسقوط في صندوق للزبد، ترشح مياهه خارج جدران الخزان. تتراوح أقطار الخزّانات الدائرية ما بين 30 ft إلى 150 ft (9 إلى 46 m)، علماً أن أقطار بعضها قد تصل إلى 200ft (60m). ويبلغ قطر الحفرة المركزية 15% إلى 20% من قطر الخزان. أما عمق الماء على الجوانب فيتراوح ما بين 7 ft إلى 12 ft (2.1 m إلى 3.7 m)، في حين يكون ميل القاع بحدود 8% .

إن الخزّانات المستطيلة شائعة عندما يكون المكان محدوداً وضيقاً، نظراً إلى إمكانية بنائها بجانب بعضها البعض باستخدام جدار مشترك. لقد خففت التحسينات الجديدة التي تضمنت استخدام درجات متحرّكة بلاستيكية، وسلاسل وعجلات مسنَّنة من الفولاذ غير القابل للصدأ، من الصيانة الضرورية إلى حد بعيد. وتُفضّل عموماً الأحواض الدائرية على الأحواض المستطيلة في الإنشاءات الجديدة، نظراً إلى أدائها المُحسِّن وتكلفة صيانتها المنخفضة. تتمتع أذرعة الجمع المُدارة من المركز والمدعَّمة إما بجسر أو بدعامة، بأجزاء متحركة أقل من تلك الموجودة في آليات العجلات المسننة الموجودة في الخزّانات المستطيلة. وبالرغم من أن الاضطراب عند المدخل

يكون أكبر خلف حفرة التدفق الداخل الصغرى، من مثيله في المروّق الدائري، فإن سرعة مياه الصرف تتباطأ، ومن ثم تنخفض سرعة الخروج وذلك نظراً إلى انتشار الانسياب بشكل شعاعي باتجاه سد التدفق الخارج. ويمكن التوصّل بسهولة إلى أطوال أكبر للسدود حول محيط خزّان دائري مقارنةً بسدود عبر نهاية خزّان مستطيل.



شكل 11-16: مروّق أولي دائري بمشغل مركزي مدعَّم بدعامات وبسد محيطي للتدفّق الخارجي. (أ) صورة للمروّق فارغاً. (ب) صورة للمروّق نفسه وهو مملوء بمياه الصرف. (ج) منظر لمخطط المروّق. (د) مقطع عبر المروّق

يوضّح الجدول 11-2 قرائن التصميم للمروّقات الأولية. وتقدم EPA قيماً منفصلة لحالة رجوع الدبال أو المواد الصلبة لحمأة منشطة إلى المروّق الأولي كي

تُزال مع المواد الصلبة الأولية. تبلغ هذه الحمولات الهيدروليكية إزالة للـــ BOD قدرها 30% إلى 40% عبر ترسيب مياه الصرف المحلية. إن فاعلية الترسيب المنبسط تعتمد بالطبع وبدرجة كبيرة على خصائص المياه. فإذا احتوت مياه الصرف المدنية على كمية كبيرة من المواد العضوية المُذابة، فقد تهبط إزالة الـــ BOD إلى ما دون 20%، وبالمقابل فإن مياه الصرف الصناعية التي تساهم بمواد صلبة قابلة للترسب قد تزيد من إزالة الـــ BOD إلى حد قد يصل إلى 60%. قد تؤثِّر الحمولة الهيدروليكية أيضاً على كثافة الحمأة المتراكمة. فعند معدلات فائض أقل من 600 gpd/sq ft ($m^3/m^2 \cdot d$)، تميل المواد الصلبة للتثخن في قعر الخزّان مع تحرك ذراع الجامع ببطء عبر الحمأة المتراكمة. قد تتسبب معدلات تزيد على 800 gpd/sq ft بحدوث حركات هيدروليكية في الخزّان تمنع تماسك الحمأة. إضافة إلى تشكُّل حمأة صرف أكثر تخفيفاً كعلامة دالة على حمولة هيدروليكية زائدة، يمكن تمييز وجود حمولة هيدروليكية زائدة بزيادة عكورة التدفق الخارج خلال فترة الانسياب الأقصى لمياه الصرف. إن حفظ الحمأة لفترة طويلة يمكن أيضاً أن يفسد الترويق، خاصة إذا أُعيدت النفايات إلى أول المحطة لترسيبها مع مياه الصرف الخام. تنتج العضويات المجهرية التي تقوم بتحليل المواد العضوية في النفايات، غازاً يجعل المواد الصلبة أكثر قابلية للطفو، موسّعةً بالتالي غطاء الحمأة ومخفِّفةً من تركيز المواد الصلبة. تتميز الحالة الشديدة للنشاط البيولوجي المؤذية بروائح كريهة، وبحمأة طافية، وقتامة لون مياه الصرف. يمكن لعمق السائل في الخزّانات الأولية المنظَّفة ميكانيكياً أن يكون ضحلاً إلى أكثر حد تطبيقيٍّ ممكن ولكن بدون أن يقلّ عن ft أقدام (2.1 m). يقوم أحياناً المصممون بزيادة عمق الماء على جوانب الخزّان وذلك لتأمين حجم إضافيٍّ للحمأة المتراكمة. ولا يعتبر زمن الاحتفاظ عادةً قرينةً مقررّةً لاختيار أحجام المروّقات الرئيسة، نظراً إلى أنها قد حددت سلفاً من خلال معدل الانسياب الفائض والعمق كما هو محدّد بالمساواة 11-4. فمثلاً، فإن معدل فائض قدره 600 gpd/sq ft وعمق 7 ft، يعطي زمن احتفاظ قدره 2.1 hr.

$$t = \frac{180.H}{V_0} \quad \textbf{(4-11)}$$

حيث

t = زمن الاحتفاظ، ساعات

H = عمق الماء في الخزان، أقدام

V_O= معدل الانسياب الفائض، gpd/sq ft

7.38 gal/cu ft x 24 hr/day = 180

جدول 11-2: قرائن تصميم نموذجية لمروّقات أساسية

معدلات الانسياب الفائض (غالون في اليوم لكل متر مربع) gpd/sq ft		
	متوسط الانسياب الشهري	انسياب الذروة
EPA	1200-800	3000-2000
معياري[1]	1000	1500
EPA مع موادٍ صلبة ثانويّة	800-600	1500-1200
عمق الماء على جوانب الخزّان (ft)		
EPA	13-10	
معياري[1]	7	
EPA مع موادٍ صلبة ثانويّة	16-13	
حمولة السدّ (غالون في اليوم لكل قدم مربع) gpd/linear ft		
EPA	40000-10000	
معياري[1]	10000	

إن حمولة السد هي الانسياب الهيدروليكي فوق سد التدفق الخارج. وفي حالة الخزّانات الأونية، يجب ألا تقل حمولات السدّ عن 10,000 gpd/ft ($125\ m^3/m\ .\ d$) للمحطات ذات 1 مليون gpd أو أقل من ذلك، ويفضّل ألا تكون أكبر من 20,000

gpd/ft (250 m^3/m . d) لانسياب تصاميم أكبر من 1.0 mgd. وهذه القيم تحدّ من سرعة الماء الذي يقترب من سد التدفق الخارج، وذلك لجعل كمية المواد المحمولة من المواد الصلبة المعلَّقة في حدِّها الأدنى.

لا تميل إزالة المواد الصلبة المعلَّقة في المروّقات الأولية إلى تغيّر بمعدل الانسياب الفائض بشكل مباشر، بل هي أكثر ارتباطاً بخصائص المواد الصلبة المعلّقة. تدل التجارب التطبيقية إلى أن النسبة المئوية للإزالة تقع ما بين 70% و50%، لدى مجال لمعدل الانسياب الفائض ما بين 600 gpd/sq ft إلى 1500 gpd/sq ft (24.4 m^3/m . d إلى 61.1 m^3/m . d). سوف يحافظ الكثير من المروّقات على كفاءة إزالة قدرها 50% صعوداً إلى 2500 gpd/sq ft (102 m^3/m . d).

تُستخدم الإزالة المتقدمة مساعداً كيميائياً لتحسين إزالة المواد الصلبة المعلّقة. تُستخدم هذه المقاربة لتخفيف حمولة المواد الصلبة على عمليات المعالجة الحيوية المتتابعة وللتجنب المؤقت، ولتوسيع وحدات المعالجة الثانوية. تُستخدم أيضاً الإزالة الأولية المتقدمة لتحسين أداء المعالجة الأولية. يعمل كل من كلوريد الحديديك والشبّة كمساعدات تخثّر لتخفيف الشحنة الكهربائية الممسكة بالمواد الصلبة في المعلّق. تحسن البوليميرات ذات الوزن الجزيئي الكبير التكدُّر واصطياد المواد الصلبة. تُحسِّن جرعة قوامها 5 mg/l إلى 15 mg/l من كلوريد الحديديك، و0.1 mg/l إلى 0.15 mg/l من البوليمير، عموماً إزالة المواد المعلَّقة من 50% إلى 75% أو 90%. تتباين البوليميرات بفاعليتها تبايناً كبيراً، كما تتباين الإزالة العامة للمعالجة، بسبب الاختلاف في خصائص المواد الصلبة، والتكدُّر ومعدلات فائض المروّق.

مثال 1-11

خزّانا ترسيب أوليان أقطارهما 95 ft وعمق الماء على جانبيهما 9 ft . تقع سدود التدفق الخارج المنفردة على محيط الخزانين. احسب معدل الانسياب الفائض، وزمن الاحتفاظ، وحمولة السدّ من أجل متوسط انسياب تصميم قدره 10.0 mgd، وانسياب ذروة قدره 4.15 mgd

الحل

حساب المساحة السطحية والحجم

المساحة السطحية:

$$2\pi r^2 = 2 \times 3.14 \times (95/2)^2 = 14.200 \text{ sq ft}$$

الحجم:

$$14.200 \text{ sq ft} \times 7 = 89{,}000 \text{cu ft}$$
$$= 0.665 \text{ mil/gal}$$

من المعادلة **(2-11)**

$$V_0 = 7000000/12700$$
$$= 550 \text{ gpd/sq ft}$$ (شهري أعظمي Q)

$$V_0 = 14{,}500{,}000/12{,}700$$
$$= \text{gpd/sq ft } 1140$$ (ذروة Q)

بواسطة المعادلة **(3-11)**

$$t = (2 . 0.665)/7 = 2.3 \text{ hr}$$ (شهري أعظمي Q)

وبحسابات بديلة لـــ t باستخدام المعادلة 4-11

$$t = \frac{180 \times H}{V_0} = \frac{180 \times 7}{550} = 2.3 \text{ hr}$$

طول السدّ = محيط كل من الخزانين = $2d\pi$

حمولة السدّ :

$$\frac{7000000}{2 \cdot 314 \cdot 90} = 12400 \text{ gpd/ft}$$

المروّقات المتوسطة

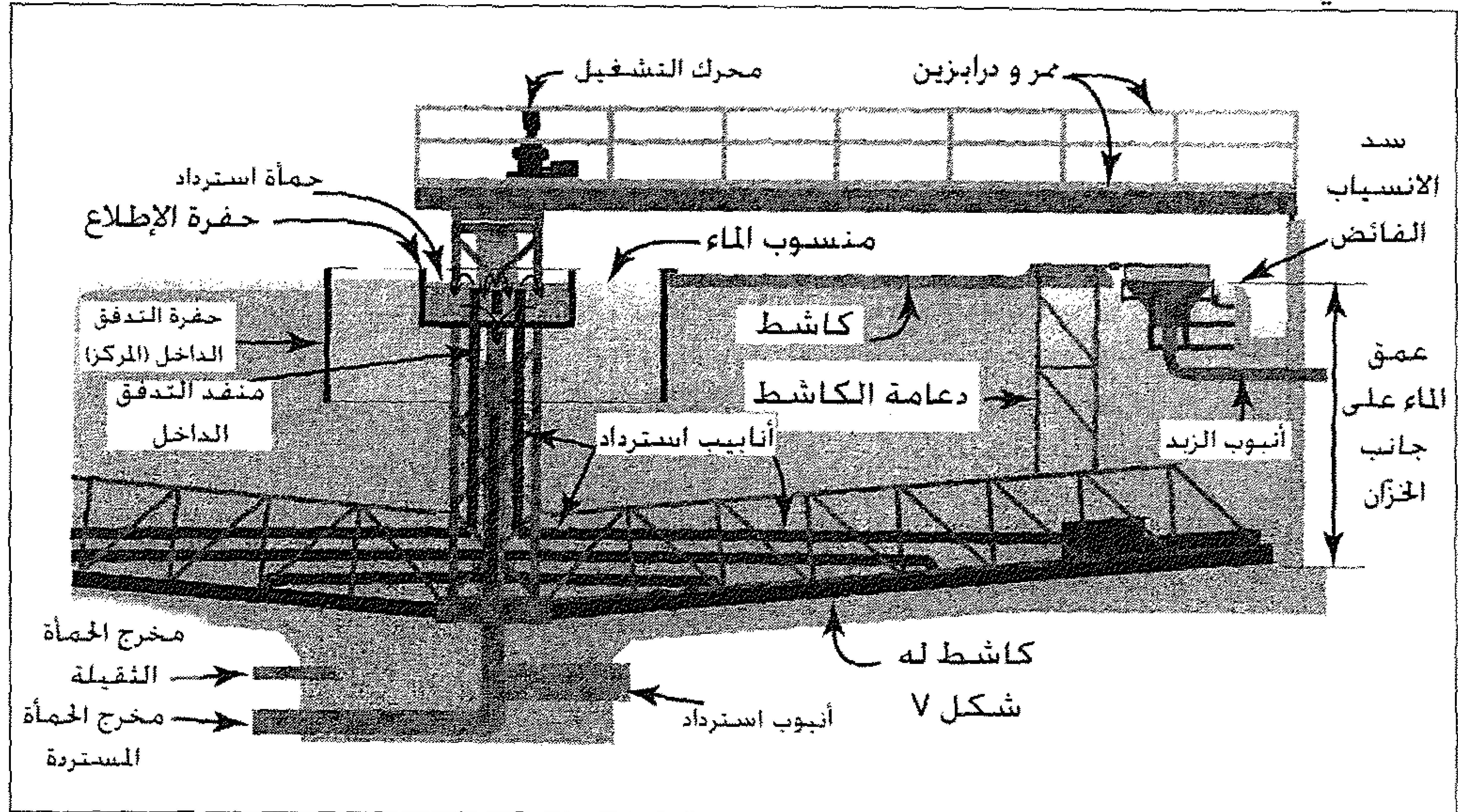
تُدعى خزّانات الترسيب الواقعة ما بين المرشحات التقطرية، أو ما بين المرشح والتهوية الحيوية اللاحقة، في معالجة ثانوية ثنائية المرحلة، المروّقات المتوسطة. وقد تُستخدم البيانات الآتية في تحديد أحجام خزّانات الترسيب المتوسطة: لا ينبغي أن يتجاوز معدل الانسياب الفائض ($41 \text{ m}^3/\text{m}^2 . \text{d}$) 1000 gpd/sq ft، الحد الأدنى

لعمق الماء على جانب الخزّان 7 ft، وحمولات السدّ يجب أن تكون أقل من gpd/lin 10,000 ft للمحطات ذات استطاعة 1 mgd أو أقل وينبغي أن تكون أكثر من 20,000 mgd للمحطات الأكبر.

المروِّقات الثانوية

أحواض الترسيب التي تلي المرشحات الحيوية، تشابه المروّقات الأولية الموضحة في الشكل 11-16. والقرائن الشائعة في المروّقات الثانوية للمرشحات التقطرية، هي ألا يتجاوز معدل الانسياب الفائض 800 gpd/sq ft ($33\ m^3/m^2 . d$)، والحد الأدنى لعمق الماء على جانب الخزّان 7 ft، وحمولات السدّ يجب أن تكون هي ذاتها للخزّانات المتوسطة، إنما تُفضّل القيم الأقل. إن الهدف من ترسيب جاذبي يلي مرشح تقطري هو جمع النمو الحيوي، أو الدبال المغسول والمجروف من أوساط المرشح. وهذه المنبوذات تكون عموماً جسيمات مؤكسَدة جيداً تترسب بسرعة وسهولة. ولذلك، فإن ذراعاً جامعاً يقوم بكشط المواد الصلبة المتراكمة ببطء باتجاه القمع المخروطي لتصريفها بشكل مستمر أو دوري، يعطي أداءً مرضياً. يكون عمق الحمأة المتراكمة في نهاية المرشح التقطري عادةً بحدود بضعة إنشات في ما لو سُحب انسياب إعادة التكرير من قعر الخزان. وحتى ولو تمت تصفية الحمأة مرتين باليوم، فإنه نادراً ما تتجاوز طبقة المواد الصلبة المترسبة ft 1. إن المروّق المُبيّن في الشكل 11-17 مصمّم خصيصاً لأنظمة الحمأة المنشطة. والفصل الثقالي للناميات الحيوية المعلّقة في السائل الممزوج في الأنظمة المهواة أكثر صعوبةً. تتسبب الحيوية العالية للحمأة المنشطة بازدياد تشكُّل كدرات طافية خفيفة وذات سرعات رسوب ضئيلة. ويرجع ذلك جزئياً إلى الإنتاج الميكروبي لفقاعات الغاز والتي تعوِّم التجمّعات الحيوية الصغيرة. قد تصل أبعاد الكدرة الميكروبية المتراكمة في خزّان نهائي لفصل الحمأة المنشطة 1 ft إلى 2 ft، وذلك في محطة تعمل بشكل جيد. وخلال فترات تحميل الذروة، قد يمتدّ غطاء الحمأة

أكثر من ذلك، ليحتل ما بين ثلث إلى نصف حجم الخزان، الأمر الذي يكون أمراً واقعاً في أنظمة التهوية عالية المعدل.



شكل 11-17: مروّق ثانوي مصمم للاستخدام مع التهوية الحيوية. تسحب الحمأة المنشطة بواسطة أنابيب سحب موجودة على ذراع جامع لاستردادها بسرعةٍ إلى حوض التهوية

إن نمط انسياب مياه الصرف هو نفسه في مروّقات دائرية أخرى، ولكن نظام جمع الحمأة متفرِّد. وأنابيب سحب الحمأة مرتبطة بآلية مجراف كاشط له شكل V، تُدار بقرص دوّار فوق سطح السائل. إن ارتفاع التصريف لأنابيب الرفع والسحب في حفرة الإطلاع أخفض من سطح الماء في الخزّان بحيث تُجبر الحمأة على الصعود إلى الأعلى لتخرج من أنابيب السحب إلى الأعلى بتأثير ضغط الماء. يتم ضبط الانسياب من كل أنبوب سحب، عبر ضبط ارتفاع الأنبوب المنزلق المحيط بأنبوب الرَّفع. تنساب الحمأة المُجمَّعة في حفرة الإطلاع عبر أنبوب شاقوليٍّ إلى الخارج يقع متمركزاً مع أنبوب التدفق الداخل لمياه الصرف. توضع حشوة مُحكمة بين حفرة الإطلاع وأنبوب رفع مياه الصرف، ما يسمح بدوران الحفرة مع الذراع الجامع بدون تسرب الحمأة إلى الخزان. يُشار إلى الوحدة المبينة بمروِّق حفرة الإطلاع، ينتج بعض المصنعين وحدات مشابهة باستخدام ألقاباً وصفية، مثل مروّق - مزيل للحمأة -

سريع. ولكل وحدة مسجّلة الملكية خصائص قد تكون هامّة في تشغيل نظام تهوية حيوي محدّد. فمثلاً، وفقاً لإحدى الآليات تُفصل الحمأة التي جُمعت بأنابيب السحب من المواد الصلبة الأثقل والتي تُجرف إلى مخروط حمأة قُمعي. تُعاد الحمأة المجمعة إلى الحمأة المنشطة بينما يتم طرح المواد الصلبة التي كُشِطت من القاع.

إن للسحب السريع والمتجانس للحمأة عبر كامل قعر مروّق الحمأة المنشطة مزيتان أساسيتان. تتمثل المزيّة الأولى بأن زمن احتفاظ المواد الصلبة التي تترسب قرب محيط الخزّان ليس بأطول من زمن احتفاظ المواد التي تترسب قرب المركز، وعلى ذلك يتم تجنُّب تقادم المواد الطافية الحيوية والمواد الصلبة اللاحقة الطافية بسبب إنتاج الغازات. وبوجود جامع كاشط، فإن زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة سيكون تابعاً مباشرة للمسافة الشعاعية مقاسة من القمع المخروطي. أما المزية الثانية فتتمثل بأن اتجاه انسياب العودة للحمأة المنشطة، هو من حيث المبدأ عمودي على قعر الخزان، وليس أفقياً باتجاه مخروط قمع الحمأة المتموضع مركزيّاً، يُحسِّن الانسياب نحو الأسفل عبر غطاء الحمأة والترسب الثقالي للكدرة، ويزيد من كثافة الحمأة. ويعتبر ذلك عاملاً هاماً عند الأخذ بالاعتبار أن الانسياب العائد قد يصل إلى نصف انسياب التدفق الداخل.

تأخذ متحوّشلات التصميم للمروّقات في عمليات الحمأة المنشطة، بالاعتبار القدرة المتناقصة على الترسب للمعلّق الحيوي المتكدّر. وبالمقارنة بخزّانات ترسيب أخرى لمياه الصرف، تكون مروّقات الحمأة المنشطة أعمق لكي تستوعب ثخانةً أكبر من المواد الصلبة المترسّبة، كما تكون ذات معدل فائض أدنى كي تقلِّل من حمل ونقل الكدرة الحيوية الأخف، وذات طول سدٍ أكبر عند تركيب قناة سد ضمن الوحدة وذلك لتخفيف سرعة اقتراب التدفق الخارج. تتراوح معدلات الانسياب الفائض النموذجية ما بين 600 gpd/sq ft ($24\ m^3/m^2\ .\ d$) للمحطات ذات الطاقات التي تقل عن 1 mgd، إلى 800 gpd/sq ft ($33\ m^3/m^2\ .\ d$) للمحطات ذات الطاقات الأكبر. خلال انسياب الذروة الهيدروليكي في أثناء اليوم، يجب ألا يزيد معدل الانسياب الفائض على 1200 gpd/sq ft و1600 gpd/sq ft للمحطات الصغيرة

والكبيرة على التوالي. يبلغ الحد الأدنى لعمق الماء بجانب الجدار 10 ft (3.1 m)، بحيث تكون الأعماق الكبيرة في الخزّانات الكبيرة الأقطار، فمثلاً 11 ft لقطر 50 ft، و12 ft لأقطار 100 ft. وتبعاً للقيم المنتقاة لمعدل انسياب الفائض والعمق، فإن زمن الاحتفاظ في مجال 2.0 hr إلى 3.0 hr. والحمولة القصوى للسدّ الموصى بها هي 10,000 gpd/sq ft إلى 20,000 gpd/sq ft ($125\ m^3/m^2 . d$ إلى 250).

مثال 11-2

قدّر الحجم الموصى به لمروّق ثانوي دائري جديد لنظام حمأة منشطة ذي انسياب تصميمٍ قدره $26,000\ m^3/d$، مع انسياب ذروة قدره $32,000\ m^3/d$. استخدم معدلات انسياب الفائض القصوى البالغ بانسياب تصميم شهري قدره $33\ m^3/m^2 . d$، وبانسياب ذروة ساعي قدره $66\ m^3/m^2 . d$.

الحل

لدى انسياب التصميم، تساوي مساحة السطح المطلوبة لكل خزان

المساحة:

$$\frac{20000\ m^3/d}{2 \cdot 33\ m^3/m^2 d} = 303\ m^2$$

معدل انسياب الفائض لدى الذروة:

$$\frac{32000}{2 \cdot 303} = 53 m^3/m^2 \cdot d < 66\ \ m^3/m^2 \cdot d = \ \text{(مقبول)}$$

قطر الخزان:

$$\left(\frac{4\ x\ 303}{\pi}\right)^{0.5} = 19.6\ m = 64\ ft$$

إن عمق الماء الموصى به بجانب الجدار لقطر خزّان أكبر من 50 ft يساوي 11 ft، ولذلك فإن

عمق الماء بجانب جدار الخزّان = 11 ft = 3.4 m

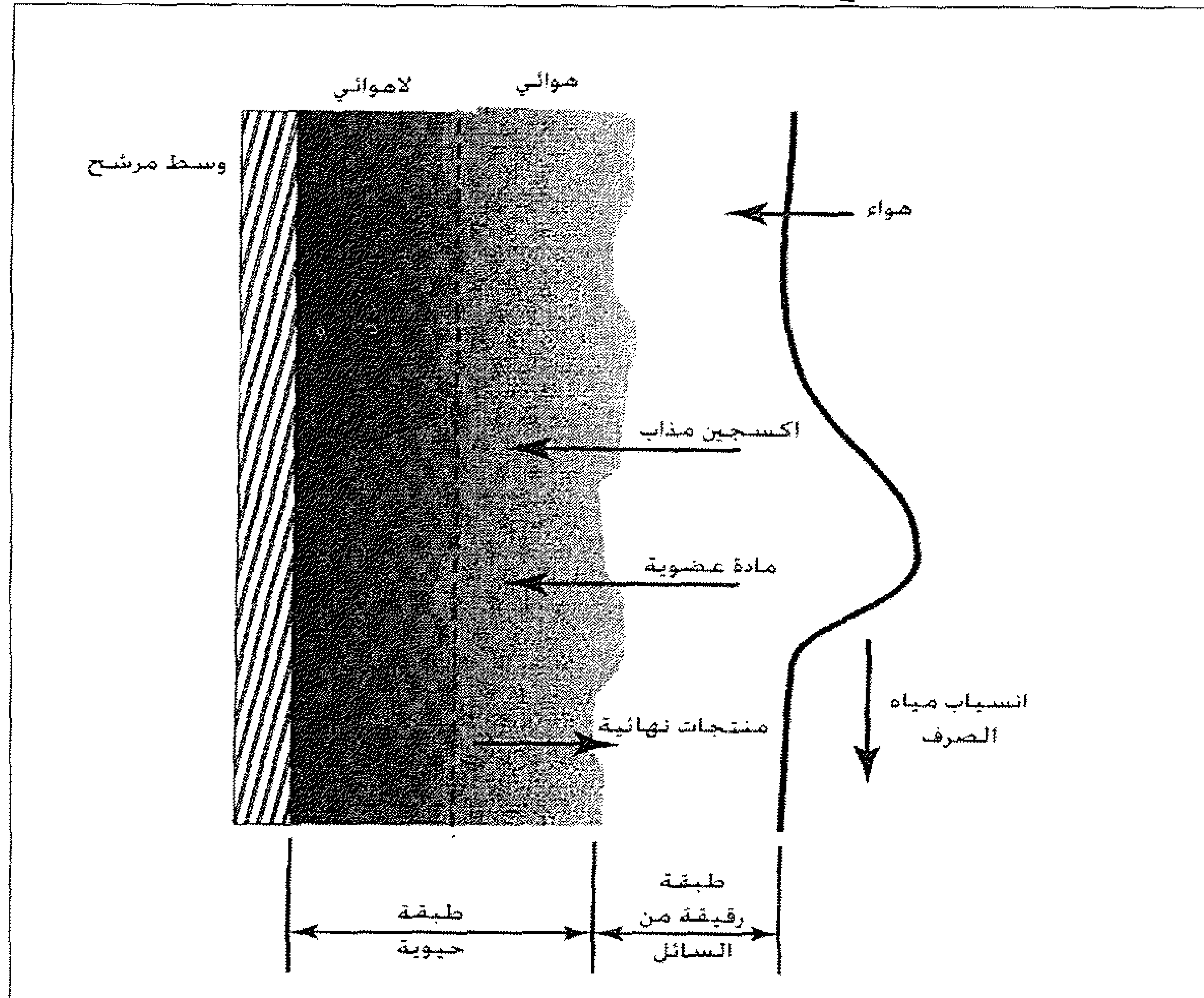
استخدم جهاز قناة سد داخلية على قطر 18 m

حمولة السدّ:

$$\frac{10000\,m^3/d}{2\pi \cdot 18\ m} = 88\ m^3/m{\cdot}d < 125\ m^3/m{\cdot}d \qquad \text{(مقبول)}$$

5-11 الترشيح الحيوي

إن الأنظمة البيولوجية ثابتة النمو هي تلك الأنظمة التي تؤمن تماساً لمياه الصرف مع النمو الميكروبي المرتبطة مع سطوح الأوساط الداعمة. وأنّى توزعت مياه الصرف فوق طبقة من الصخور المحطمة، فإنه يُشار عموماً إلى الوحدة باسم المرشح التقطري. ومع تطور الأوساط الصناعية التي استخدمت بديلاً عن الأحجار، ظهر مصطلح البرج البيولوجي، ونظراً إلى أن مثل هذه التركيبات غالباً ما تكون 14 ft إلى 20 ft في العمق بدلاً من مرشح الوسط الحجري التقليدي الذي يبلغ 6 ft. وهناك نمط آخر من أنظمة النمو الثابت هي منظِّم بيولوجي دوار، حيث تدور ببطء سلسلة من الصفائح الدائرية موجودة على عمود مشترك.



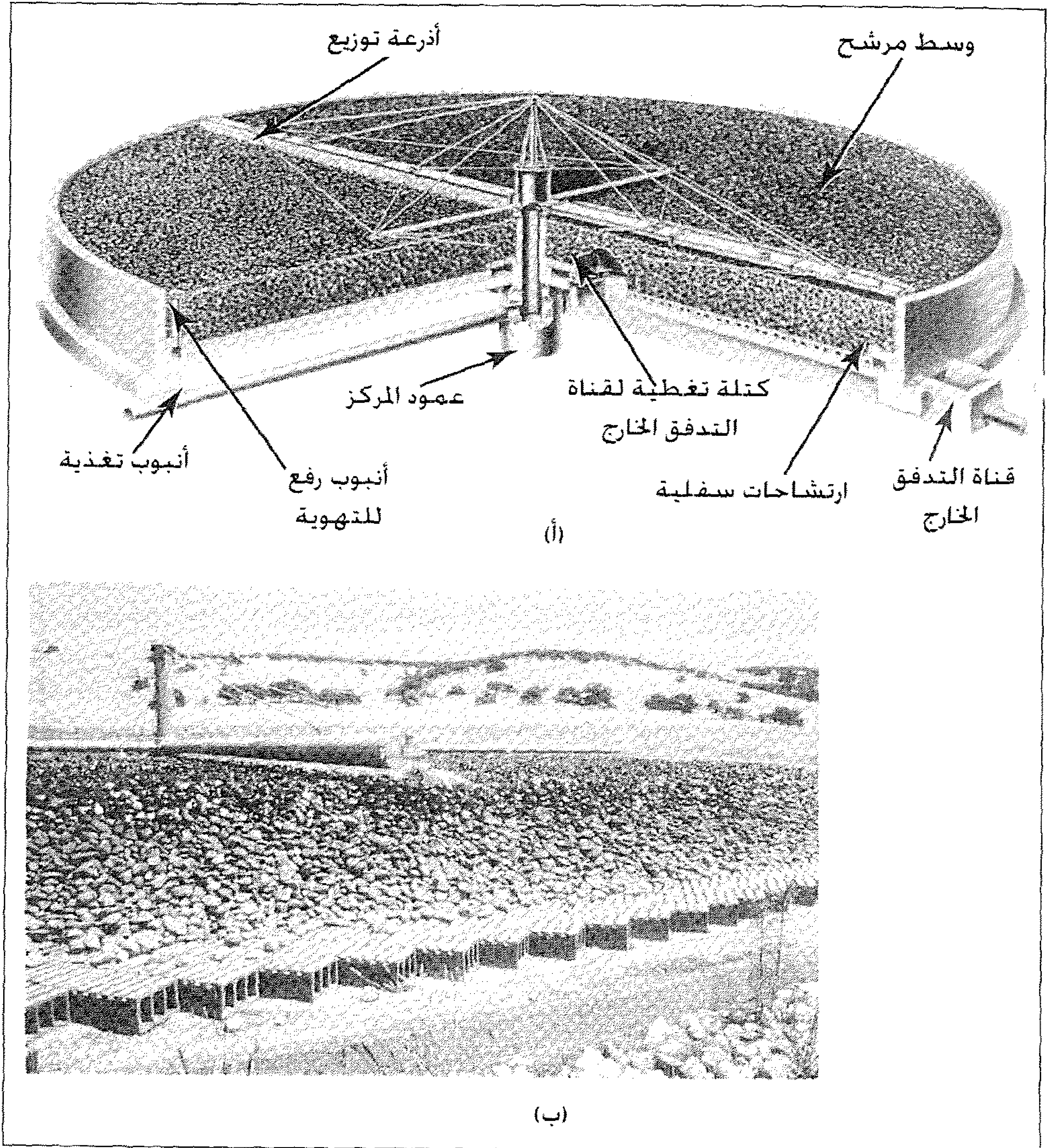
شكل 11-18: مخطط يوضّح العملية الحيوية في طبقة مرشح

وبالرغم من تباين البنى الفيزيائية، فإن العمليات الحيوية نفسها من حيث المبدأ في كل أنظمة النمو الثابت هذه، تنتج مياه الصرف المحلية المرذذة فوق وسط ثابت وحلاً حيوياً يغلِّف السطح. تتكوَّن هذه الطبقة الرقيقة المغلِّفة بصورة رئيسة من البكتيريا، والابتدائيات، والفطريات والتي تتغذى من عضويات الصرف. توجد أيضاً ديدان الحمأة، ويرقانات الذباب، والدولابيات، وبيوض أخرى كثيرة، وفي أثناء الطقس الدافئ تحت أشعة الشمس تنمو الطحالب على سطح طبقة المرشح. حيث يظهر الشكل 11-18 النشاط الحيوي.

ومع انسياب مياه الصرف على طبقة الوحل الغرويّ، يتم استخلاص المادة العضوية والأكسجين المُذاب، ويتم إطلاق مواد نهائيّة متأيّضة مثل المواد الخالية من ثاني أكسيد الكربون. يُستنزَف الأكسجين المُذاب عبر امتزازه من قبل الهواء في الفراغات المحيطة بوسط المرشح. وبالرغم من رقّة الطبقة الحيوية إلا أنها لاهوائية في أسفلها. ولذلك، وبالرغم من أنه يُشار عموماً إلى الترشيح الحيوي بمصطلح المعالجة الهوائية، إلا أنه في الواقع نظام اختياريّ يدمج كلاً من النشاط الهوائي واللاهوائي.

تنمو العضويات المرتبطة بالوسط في الجزء العلوي لطبقة ما بسرعة، متغذية على الإمداد الوفير بالغذاء. وعندما تقطر مياه الصرف للأسفل، يتناقص المحتوى العضويّ إلى الدرجة التي تصبح فيها العضويات المجهرية الموجودة في النطاق السفلي بحالة الموت جوعاً. وبالتالي فإن غالبية الـ BOD يتم استخلاصه في القدمين أو الثلاثة أقدام السفلى من المرشح ذي الثخانة البالغة 6 ft. يُزال النمو البكتيري الذي ينبذه الوسط من التدفق الخارج للمرشح، بواسطة مروِّق ثانوي. يمكن للحمولة العضوية لمرشح ذي أوساط حجرية، بالترافق مع انسياب هيدروليكيٍّ غير كاف لأن يتسبّب بانسداد الممرات بنمو حيويٍّ، الأمر الذي يشكِّل بركاً من مياه الصرف فوق الطبقة، وتراجع كفاءة المعالجة، وانطلاق روائح كريهة نتيجة الظروف اللاهوائية.

المرشحات التقطرية ذات الأوساط الحجرية



شكل 11-19: صورة لمرشح تقطري ذي وسط حجري (أ) منظر في مقطع مرشح تقطري له جدران جانبية من البيتون. (ب) منظر خارجي لمرشح تقطري بلا جدران جانبية يظهر الارتشاح السفلي. (صورة ملتقطة في محطة معالجة مياه صرف إلدورادو هيلز)

يظهر الشكل 11-19 مشاهداً للمرشحات التقطرية ومكوِّناتها الأساسية هي عبارة عن موزِّع دورانيٍّ، ونظام تصريف، ووسط مرشح. يتم ضخ التدفق الداخل لمياه

الصرف عبر أنبوب رفع شاقولي إلى موزع دوراني لتوزيعه بشكل متجانس على سطح المرشح. تتحرك الأذرع الدوّارة بتأثير اندفاع مياه الصرف المنسابة خارج بزباز التوزيع. يحمل الارتشاح السفلي للطبقة، التدفق الخارج ويسمح بدوران الهواء. لقد صُمِّمت أنابيب رفع التهوية وقناة التدفق الخارجي للسماح بمرور حرٍّ للهواء. وفي بعض التركيبات تصبّ مجموعة الارتشاح السفلي في قناة ما بين الجدارين الخارجيين المزدوجين للسماح بتهوية محسّنة وبالوصول إليها لغسل وشطف الارتشاح السفلي.

إن أكثر الأوساط شيوعاً في المرشحات الموجودة هي الصخور المهشمة، وخبث البراكين، والأحجار الحقلية العالية التحمُّل المقاومة للانحلال والتشظي. يتراوح قطر الأحجام المفضلة للأوساط الحجرية في طيف يمتدّ ما بين .3 in إلى .5 in. وبالرغم من أن الأحجار الأصغر توفر مساحةً سطحية أكبر للنمو الحيوي، إلا أن الفراغات في ما بينها تميل إلى الانسداد، وتحدّ من مرور السوائل والهواء. تتراوح أعماق الطبقة ما بين .5 in إلى .7 in، والأعماق التي تتجاوز ذلك لا تحسن مادياً من كفاءة إزالة الـــ BOD. إن مرشّحات الأوساط الحجرية المُستخدمة في معالجة مياه الصرف المدنية يسبقها دوماً ترسيب أوليّ للمواد الصلبة المعلَّقة الأكبر.

تحسب حمولة الـــ BOD على المرشح التقطري باستخدام الـــ BOD في التدفق الخارج الأولي المطبق في المرشح، بغض النظر عن أيّ مساهمة للـــ BOD في الانسياب المدوّر من المروّق، المعادلة 11-5. والحمولة الهيدروليكية هي كمية السائل المطبق على سطح المرشح متضمناً كلاً من مياه الصرف غير المعالجة والانسيابات المُدوَّرة، المعادلة 11-6. ويُعبَّر عن حمولة السطح هذه بوحدات ملايين الغالونات من المساحة السطحية في اليوم (mgad) أو بالغالونات بالدقيقة بالقدم المربع (بالمتر المكعب بالمتر المربع باليوم). تحسب نسبة إعادة التدوير، والمحسوبة بالمعادلة 11-7، بنسبة الانسياب المدوّر إلى مياه الصرف الداخلة إلى محطة المعالجة.

حمولة الـــ BOD :

$$\text{حمولة BOD} = \frac{\text{BOD المترسبة من مياه الصرف}}{\text{حجم أوساط المرشح}} \qquad \textbf{(5-11)}$$

حيث إن حمولة الـــ BOD = باوندات الـــ BOD المطبقة في 1000 cu ft في اليوم (غرامات بالمتر المكعب باليوم)

BOD المترسبة = BOD مياه الصرف المتبقية بعد الترسيب الأولي، باوندات في اليوم (غرامات باليوم)

حجم الأوساط = حجم الأحجار في المرشحات، آلاف الأقدام المكعبة (أمتار مكعبة)

الحمولة الهيدروليكية:

$$\frac{Q + Q_R}{A} \qquad \textbf{(6-11)}$$

حيث الحمولة الهيدروليكية = ملايين الغالونات بالدونم في اليوم (أمتار مكعبة بالمتر المربع باليوم)

Q = انسياب مياه الصرف، ملايين الغالونات في اليوم (أمتار مكعبة باليوم)

Q_R = الانسياب المدور، ملايين الغالونات في اليوم (أمتار مكعبة باليوم)

A = المساحة السطحيّة للمرشحات، دن، (m^2)

(7-11)

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

R نسبة إعادة التدوير

Q و Q_R الشرح أعلاه نفسه

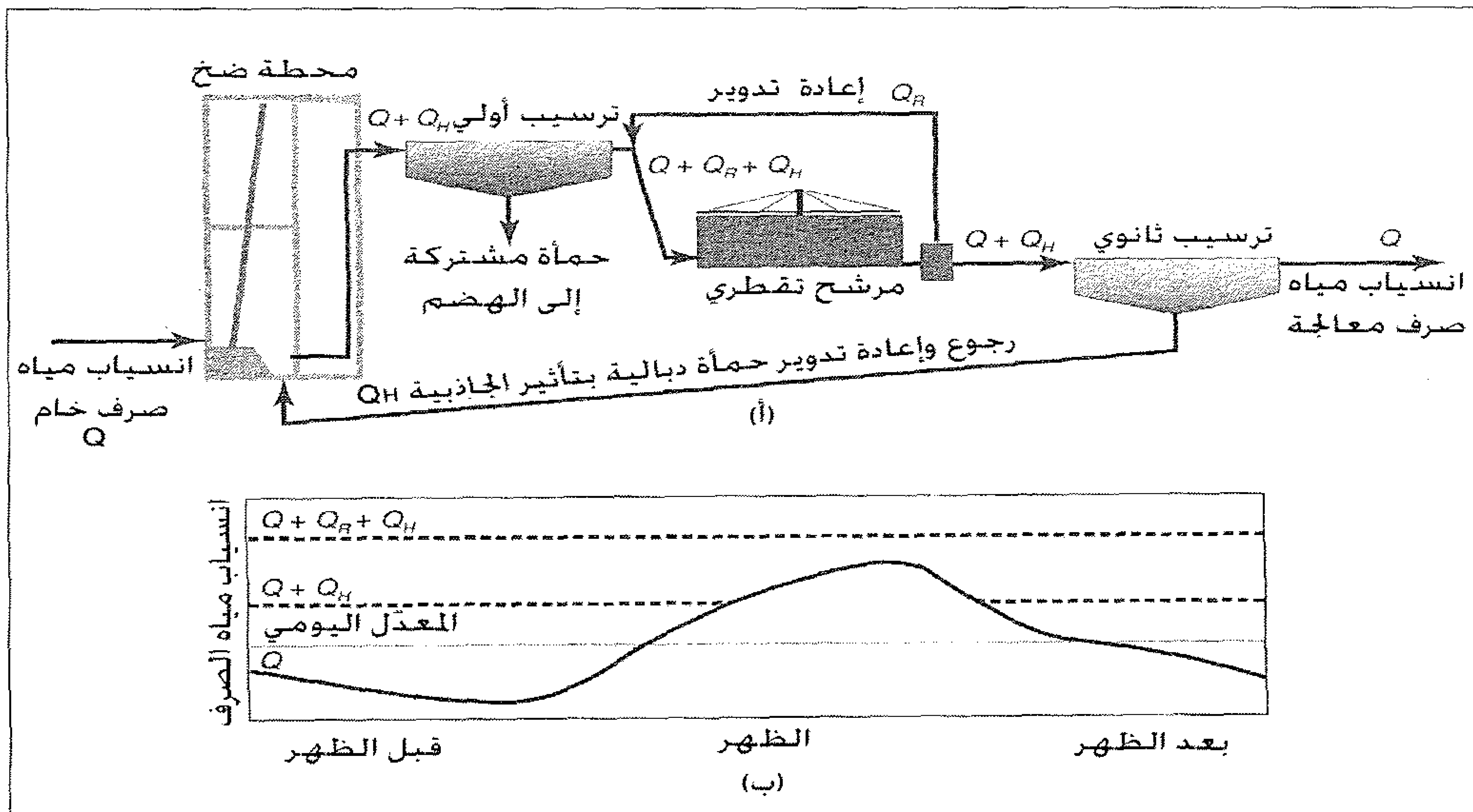
يبين الجدول 11-3 الحمولات النموذجية لمرشّحات الأوساط الحجرية. ترجع المحطات ذات المرشحات انسياباً كافياً عائداً من المخروط القمعي للمروّق إلى الحفرة الرطبة لإزالة المواد الصلبة المترسبة المتراكمة ولمنع توقّف ذراع التوزيع خلال انسياب مياه الصرف. وكذلك تزيد إعادة دوران مياه الصرف ضمن المحطة، انسياب السائل عبر طبقة المرشح للسماح بحمولة عضوية أكبر بدون ملء فراغات الطبقة بالنمو الحيوي الذي سوف يعيق التهوية. تظهر الخبرة أن حمولات الـــ BOD التي تزيد عن 25 lb/1000 cu ft/day ‏(400 $g/m^3/d$)، تتطلّب جرفاً لـــ 10 mil gal/acre/day للمحافظة على إبقاء الطبقة الحجرية الممتلئة مفتوحة. إضافة إلى ذلك، فإن كفاءة إزالة الـــ BOD تتحسن بإمرار مياه الصرف عبر المرشح لأكثر من مرة.

جدول 11-3: حمولات نموذجية للمرشّحات التقطرية ذات أوساط حجرية أو من الخبث البركاني ثخانتها 7-5 ft

	معدل عالٍ	مرحلتان
حمولة الـــ BOD		
lb/1000 cu ft/day[a]	30 إلى 90	45 إلى 70
lb/acre-ft/day	1300 إلى 3900	2000 إلى 3000
الحمولة الهيدروليكية		
mil gal/acre/day[b]	10 إلى 30	10 إلى 30
gpm/sq ft	0.16 إلى 0.48	0.16 إلى 0.48
نسبة إعادة التدوير	3.00 – 0.5	4.0 – 0.5

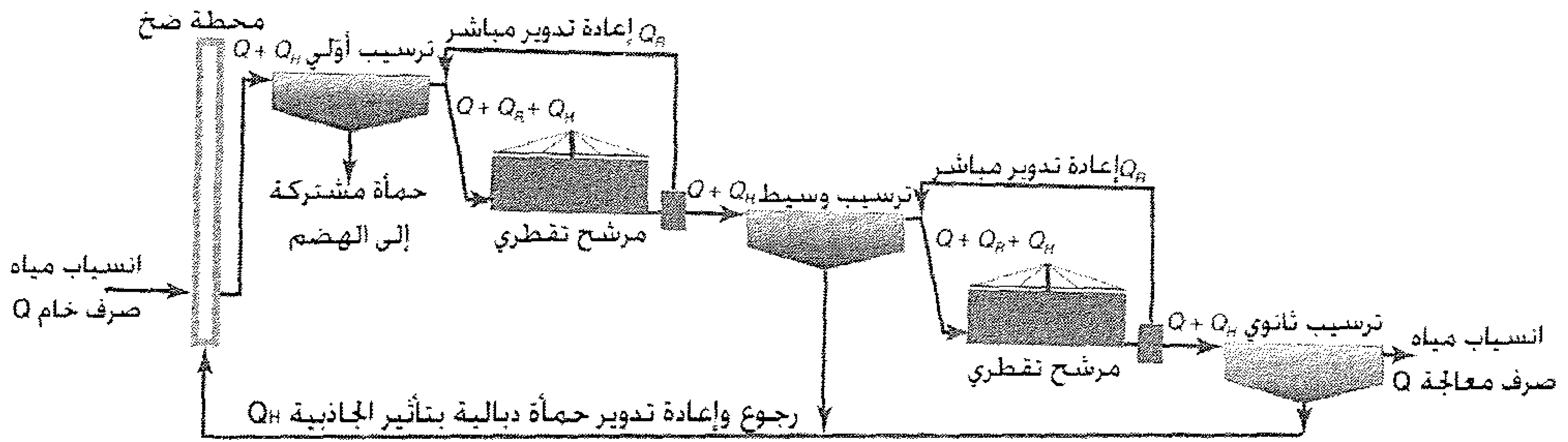
[a] 1 lb/1000 cu ft/day =16.0 $g/m^3 \cdot d$

[b] 1.0 mil gal/acre/day = 0.935 $m^3/m^2 \cdot d$



شكل 11-20: محطة ذات مرشح تقطري أحادي المرحلة (أ) منظر جانبي لمرشح تقطري أحادي المرحلة يظهر مخططات انسياب مياه الصرف ذات الصلة متضمناً إعادة تدوير ضمن المحطة. (ب) الأنماط العامة للانسياب: Q = انسياب التدفق الداخل لمياه الصرف، $Q + Q_H$ = التدفق الداخل مضاف إليه الدبال الراجع من قاع المروّق، $Q + Q_R + Q_H$ = الانسياب إلى المرشح مع إعادة تدوير مباشر وغير مباشر

تطبق أنماط متعدّدة لإعادة التدوير في محطات المعالجة القائمة. وأكثر التصاميم شيوعاً هو الرجوع بتأثير الثقالة للانسياب السفلي من المروّق الثانوي إلى الحفرة الرطبة خلال فترات الانسياب المتدني لمياه الصرف، وإعادة دوران عبر ضخ تصريف المرشح لإعادته إلى التدفق الداخل للمرشح كما هو موضّح في الشكل 11-20. حيث تمثّل الخطوط في الشكل (11-20ب) الانسياب إلى المرشح. تتحدد عادةً إعادة تدوير الانسياب السفلي للمروّق بنسبة إعادة تدوير قدرها 0.5، لكونها نسبةً مناسبة لاختزال المواد الصلبة المترسبة لإزالتها في المروّق الأساسي، وللمحافظة على انسياب مناسب لتدوير ذراع التوزيع. ولكن بتحديد انسياب الاختزال هذا، لن يزداد الانسياب الفائض وقت الذروة للمروّق الأساسي. ولإعادة التدوير المباشرة مزيّة عدم التأثير على خزّانات الترسيب الأولية أو الثانوية، أما سيئته فهي الاحتياج إلى محطة ضخ منفصلة.



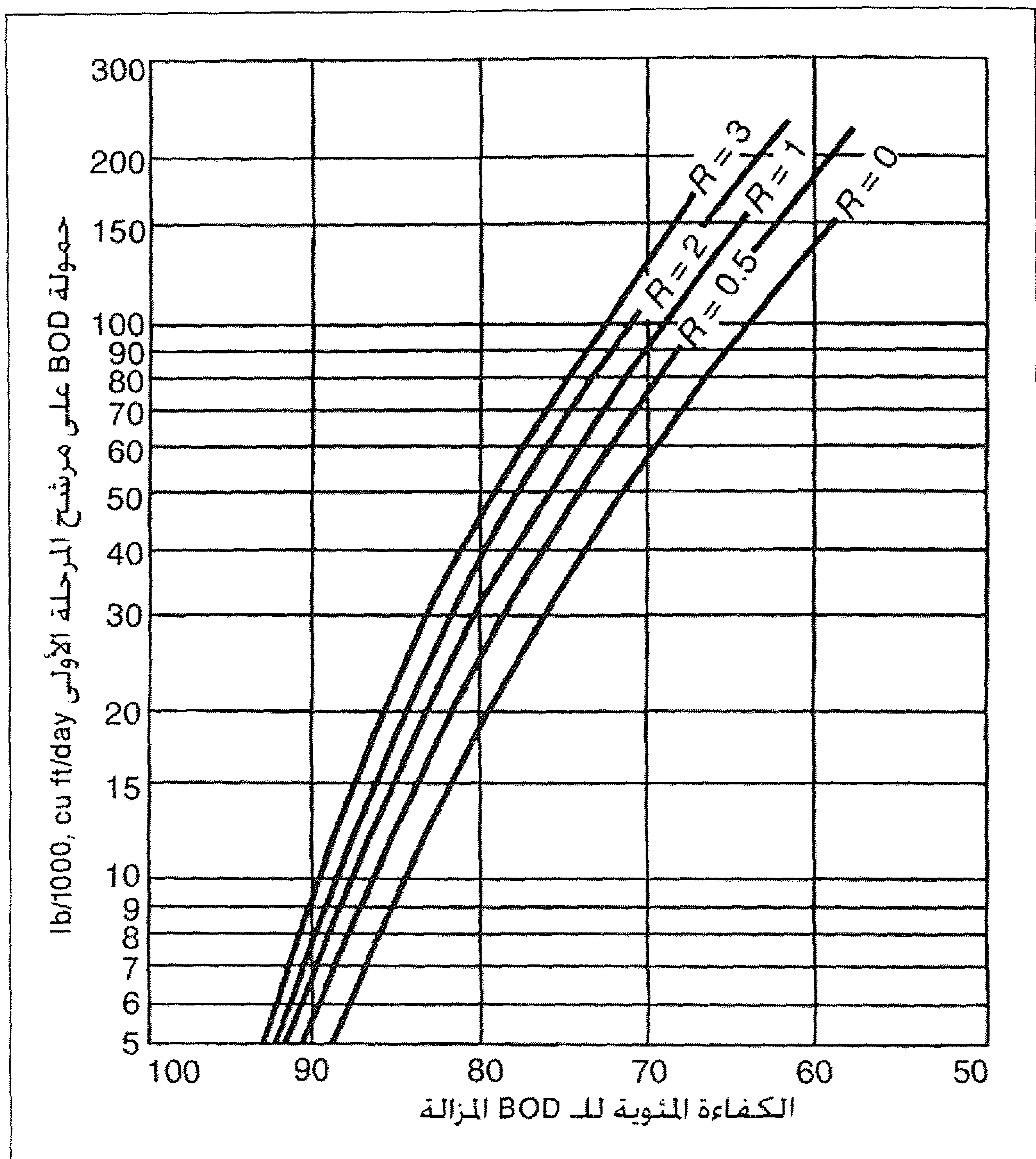
شكل 11-21: مخطط انسياب نموذجي لمحطة ذات مرشح تقطري ثنائي المرحلة، مع مروّق وسيط

يتكون المرشح التقطّري ثنائي (Trickling Filter) المرحلة من وحدتي مرشّح-مروّق على التسلسل (شكل 11-21)، وأحياناً يمكن إلغاء حوض الترسيب المتوسط. وهذا النمط من الأنظمة مطلوب للوصول إلى BOD قدرة 30 mg/l في التدفق الخارج عند معالجة مياه صرف في المناخات الرطبة، أو مياه صرف محلية أقوى من قيمة المتوسط. ويركّب في كلا المرشحين الحجم نفسه وذلك لتشغيل

اقتصادي ونموذجي. وتدمج في التصميم عادةً عدّة خيارات إعادة تدوير. فمثلاً، يرجع في الشكل 11-21 الانسياب السفلي من المتوسط والمروّقات إلى الحفرة الرطبة لطرح المواد الصلبة، في حين تكون إعادة التدوير المباشر حول كل مرحلة مرشح، ممكنة. ويمكن ضخ إعادة التدوير المباشر من قاع كل خزان ترسيب أو مباشرة من حفرة التدفق الداخل (تصريف مرشح). لقد تم تطوير عدد من المعادلات الرياضية لحساب كفاءة المرشحات الحيوية لإزالة الـــ BOD اعتماداً على عوامل مثل عمق الطبقة، ونمط الوسط، ودرجة الحرارة، وإعادة التدوير، والحمولة العضوية. تعتمد دقّة هذه المعادلات على وسط المرشح الذي يكون له طبقةً حيوية متجانسةً وحمولةً هيدروليكيةً موزَّعة بالتساوي. وقلما توجد مثل هذه الظروف في المرشحات ذات الأوساط الحجرية، والتي قد تطوِّر نمواً حيوياً غير متساوٍ، ما يسبب انقطاع انسياب مياه الصرف في الطبقة. لذا فإنه في الممارسة اليومية تُستخدم علاقات افتراضية تجريبية تعتمد على بياناتٍ تشغيلية جُمعت من محطات المعالجة القائمة.

لقد تم تطوير إحدى أكثر المعادلات شيوعاً، بالاستناد إلى بيانات مجلس البحوث الوطني (NRC) والتي جُمعت من محطات تعمل بالمرشحات ضمن إنشاءات عسكرية بالولايات المتحدة خلال مستهل أربعينيات القرن الماضي.

تعتبر هذه النتائج المبينة مخططاتها في الشكل 11-22، قابلة للتطبيق في مرشّحات تقطّرية أحادية المرحلة ذات أوساط حجرية، يعقبها خزّان ترسيب ومعالجة مياه صرف محلية مترسبة ذات درجة حرارة قدرها 28 °C (68 °F). تُقرأ الكفاءة على امتداد مقياس سفلي موجود تحت النقطة التي يتقاطع عندها خط الحمولة الأفقي مع الخط المنحني وفق نسبة إعادة التدوير المناسب. فمثلاً عند حمولة قدرها 40 lb BOD/1000 cu ft/day ونسبة إعادة تدوير قدرها 0، تكون الكفاءة 74%، وعند حمولة الـــ BOD نفسها ونسبة إعادة تدوير قدرها 3، تكون الكفاءة 81%.



شكل 11-22: منحنيات الكفاءة لمرشح تقطري أحادي المرحلة ذي وسط حجري يعالج مياه صرف محلية تحت درجة حرارة $20^{\circ}C$، استناداً إلى بيانات مجلس البحوث الوطني (NRC)

إن مرشح المرحلة الثانية أقل كفاءة من المرحلة الأولى بسبب تناقص القدرة على المعالجة لجزء مياه الصرف المطبق على الطبقة الثانية. وبكلمات أخرى إن معظم الغذاء الحيوي المتاح يسحب أولاً، ممرراً العضويات التي تكون إزالتها

أصعب إلى مرشح المرحلة الثانية. واستناداً إلى ملاحظات NRC، فإن هذا التأثير يمكن دمجه عبر زيادة على مرشح المرحلة الثانية، كما هو مبين في العلاقة الآتية:

حمولة المرحلة الثانية من الـ BOD المعدلة للمعالجة:

$$= \frac{\text{حمولة المرحلة الثانية الفعلية من BOD}}{\left[\dfrac{100 - \text{الكفاءة المئوية للمرحلة الأولى}}{100}\right]^2} \qquad \textbf{(8-11)}$$

تحسب حمولة المرحلة الثانية من الـ BOD بواسطة المعادلة 11-5، حيث تؤخذ قيمة مياه الصرف المترسبة حيث تعتبر كانسياب الفائض من المروّق الوسيط. وبعد تعديل قيمتها للمعالجة بواسطة المعادلة 11-8، يمكن تقدير كفاءة المرحلة الثانية من الشكل 11-23. والكفاءة العامة لمحطة المعالجة لنظام مرشح ثنائي المرحلة يمكن حسابه بالمعادلة 11-9:

$$E = 100 - 100\left[\left(1 - \frac{35}{100}\right)\left(1 - \frac{E_1}{100}\right)\left(1 - \frac{E_2}{100}\right)\right] \qquad \textbf{(9-11)}$$

حيث: E = BOD محطة المعالجة، نسبة مئوية

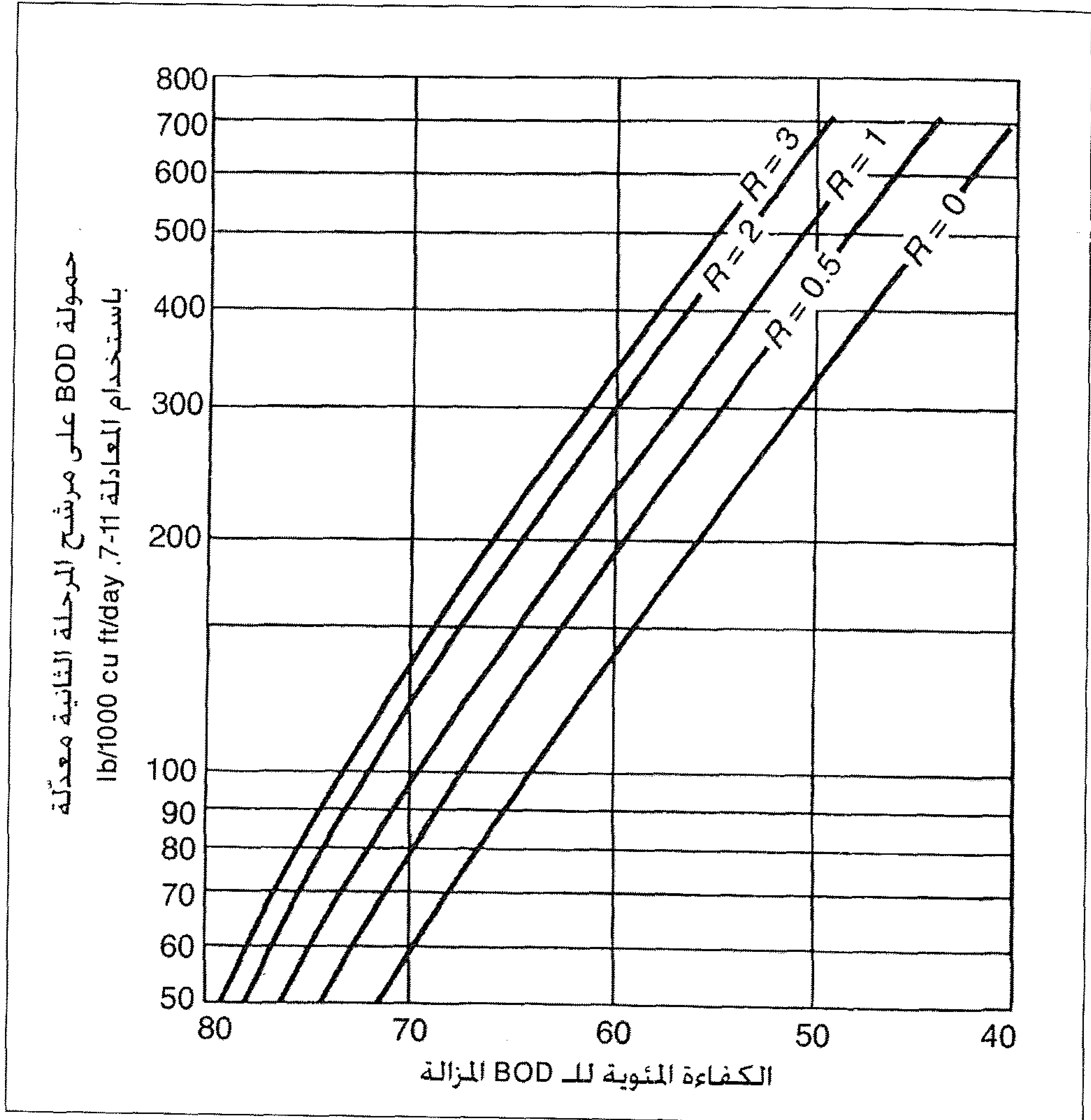
35 النسبة المئوية للـ BOD المُزال بالترسيب الأولي

E_1 = كفاءة الـ BOD لمرشح المرحلة الأولى وللمروّق الوسيط مصححاً بالنسبة إلى درجة الحرارة. نسبة مئوية

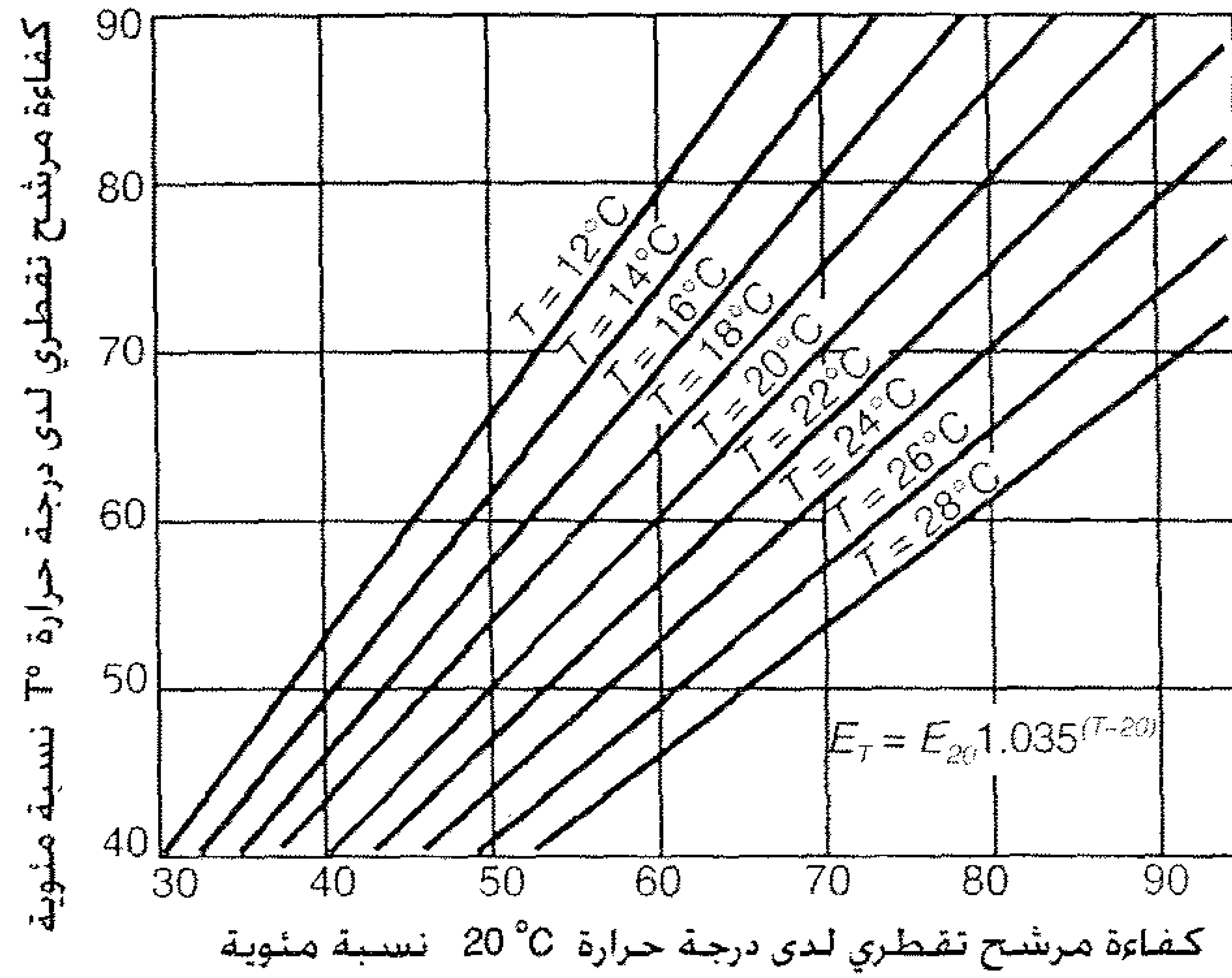
E_2 = كفاءة الـ BOD لمرشح المرحلة الثانية وللمروّق النهائي مصححاً بالنسبة إلى درجة الحرارة نسبة مئوية.

تتأثر إزالة الـ BOD في الترشيح الحيوي، وبشكل كبير بدرجة حرارة مياه الصرف. وتعمل المرشحات في المناخات الباردة بكفاءةٍ قدرها 5% أو أكثر دون المتوسط السنوي خلال أشهر الصيف. يمكن استخدام المخطط في الشكل 11-24

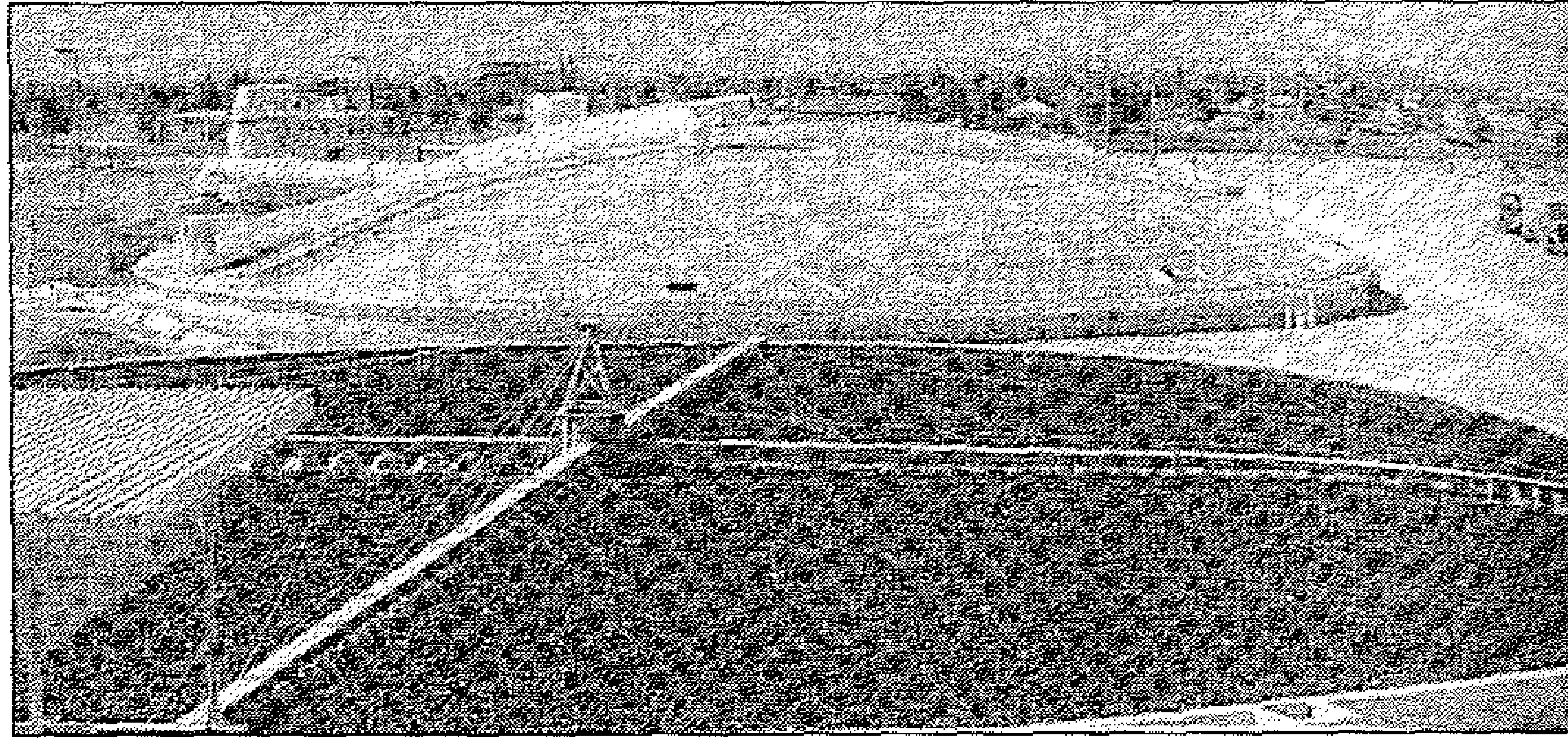
لتعديل الكفاءة من الشكل 11-22 و11-23 لدرجات فوق أو دون 20 °C. وقد يكون غطاء المرشح مطلوباً في المناخات الباردة للوصول إلى معيار تدفّق قدره 30 mg/l من الـــ BOD أو أقل.



شكل 11-23: منحنيات الكفاءة لمرشح تقطري ثنائي المرحلة ذي وسط حجري يعالج مياه صرف محلية تحت درجة حرارة **20°C**، استناداً إلى بيانات مجلس البحوث الوطني **(NRC)**، المعدلة لحمولة **BOD** لدخول المنحني كما لو أنها محسوبة باستخدام المعادلة **11-7**



شكل 11-24: مخطط لتصحيح كفاءة الـــ BOD من بيانات NRC لدى درجة حرارة أخرى ما بين 12 و28°C



شكل 11-25: لقد غُطي المرشح التقطري في خلفية الصورة لضبط الرائحة. جهاز غسل الغاز لضبط الرائحة إلى يسار المرشح يتصل بقناة من أجل التهوية. وفي مناخات المناطق الباردة، تغطى المرشحات التقطرية لتخفيف ضياع الحرارة والحافظة على كفاءة إزالة في أثناء ظروف فصل الشتاء. (الصورة مأخوذة من: Las Vegas Water Pollution Control Facility مرفق مراقبة تلوّث مياه لاس فيجاس)

إن تركيب النمط الظاهر في الشكل 11-25 يحمي المرشحات من الريح والثلج، وبالتالي يمنع التبريد الزائد لمياه الصرف المرذّذة على الصخور. توفر تهوية إيجابية لتأمين وصول الهواء إلى الطبقة ولتبديد الغازات الأكّالة، وتحديداً كبريتيد الهيدروجين. وقد يتطلب الأمر ضبط الرائحة وذلك لتخفيف الروائح الكريهة من المرشح التقطري (مركبات عضوية مثل ميركابتان).

مثال 11-3

يبلغ انسياب التصميم لمرشح تقطري ثنائي المرحلة الظاهر في الشكل 11-21 مقدار 12 mgd بمتوسط تركيز BOD قدره 220 mg/l. احسب حمولات الوحدة وكفاءة محطة المعالجة لدى درجة حرارة مياه الصرف تبلغ 16°C. علماً أن عمليات الوحدة قد حددت أحجامها كالآتي:

مروّقات أولية = 4 بقطر 80 ft، وعمق جانب الجدار 7 ft

مرشحات مرحلة أولى = 4 بقطر 110 ft، وعمق 6 ft

مروّقات وسيطة = 2 بقطر 90 ft، وعمق جانب الجدار 7 ft

مرحلة ثانية مطابقة للأولى

مروّقات ثانوية = 4 بقطر 80 ft، وعمق جانب الجدار 8 ft

ونمط إعادة التدوير هو كما ظاهر في الشكل 11-21: يبلغ المقدار الراجع إلى الحفرة الرطبة 0.5 mgd (متوسط الانسياب) كانسياب سفلي من كل مروّق لأجل انسياب كلي $Q_R = 0.6$ mgd، وإعادة تدوير مباشرة حول كل مرشح Q_R قدره 0.8 mgd. ومجموع Q_R و Q_H يساوي $\frac{2}{3}$ التدفق الداخل Q.

الحل:

خزان الترسيب الأولي:

تتضمّن V_O متوسط الانسياب الراجع Q_H:

$$A = 4\pi\,(80/2)^2 = 21000 \text{ sq ft}$$

$$V_0 = (12 + 0.5)\cdot 10^6/20100 = 620 \text{ gpd/sq ft}$$

فإذا كانت V_O ضمن حدود التصميم وكانت نسبة إزالة الـ BOD 35% فإن BOD في التدفق الخارج المترسب:

$$0.65\cdot 220 = 143 \text{ mg/l}$$

مرشح تقطري مرحلة أولى

الحجم:

$$4\,\pi\,(110/2)^2\cdot 6 = 228000 \text{ cu ft}$$

حمولة الـــ BOD:

$$\frac{12mgd(220mg)/l)(1-0.35)8.34}{228000 cu\,ft} = 62.8 \text{ lb/1000/cu ft/day}$$

الحمولة الهيدروليكية:

$$\frac{12+6+0.5mgd}{0.873 \text{ acres}} = 21.2 \text{ mgad}$$ (مقبول)

من الشكل 11-22 وعند 63 lb/1000/cu ft/day، و0.54= $Q_R = 6.5/12$ أو 54% لدى درجة حرارة $20^{\circ}C$، وتكون الكفاءة 74% . وتكون الكفاءة المصححة لدى درجة حرارة $16^{\circ}C$ من الشكل 11-24 تكون 64%

مروّق وسيط

$$A = 2\times\frac{90^2\ \pi}{4} = 12700 \text{ sq ft}$$

$$Vo = \frac{(12+0.5)\cdot 10^6 gal}{12700 sq\,ft} = 980 \text{ gpd/sq ft}$$

التدفق الخارجي BOD:

(1-0.64) 143 = 51.5 mg/l

مرشح مرحلة ثانية ومروّق ثانوي

حمولة الـــ BOD:

$$\frac{12mgd(51.5 mg/l)\cdot 8.34}{228000 cu\,ft} = 22.6 \text{ lb/1000/cu ft/day}$$

من المعادلة 11-8 :

حمولة الـــ BOD المعدلة:

$$\frac{22.6}{(1-0.64)^2} = 170 \text{ lb/1000/cu ft/day}$$

الحمولة الهيدروليكيّة:

$$\frac{12+6+0.5\ mgd}{0.873\ acres} = 21.2\ mgad$$

تبلغ نسبة الكفاءة من الشكل 11-23 عند 170 lb/1000/cu ft/day و = Q'_R = 6.5/=0.5412 مقدار 62%، تكون نسبة الكفاءة المصححة لدى درجة حرارة 17°C من الشكل 11-24 تكون 54%

مساحة المروّق:

$$4 \cdot \frac{80^2\,\pi}{4} = 20100\ sq\ ft$$

$$V_0 = \frac{12 \cdot 10^6\ gpd}{20100\,sq\,ft} = 600\ gpd/sq\ ft$$

التدفق الخارجي BOD للمحطة:

$$(1-0.54) \cdot 51.5 = 24\ mg/l$$

كفاءة إزالة الــ BOD الكليّة من المحطة لدى درجة حرارة $17^{\circ}C$

$$E. = \frac{220-24}{220} 100 = 89\ \%$$

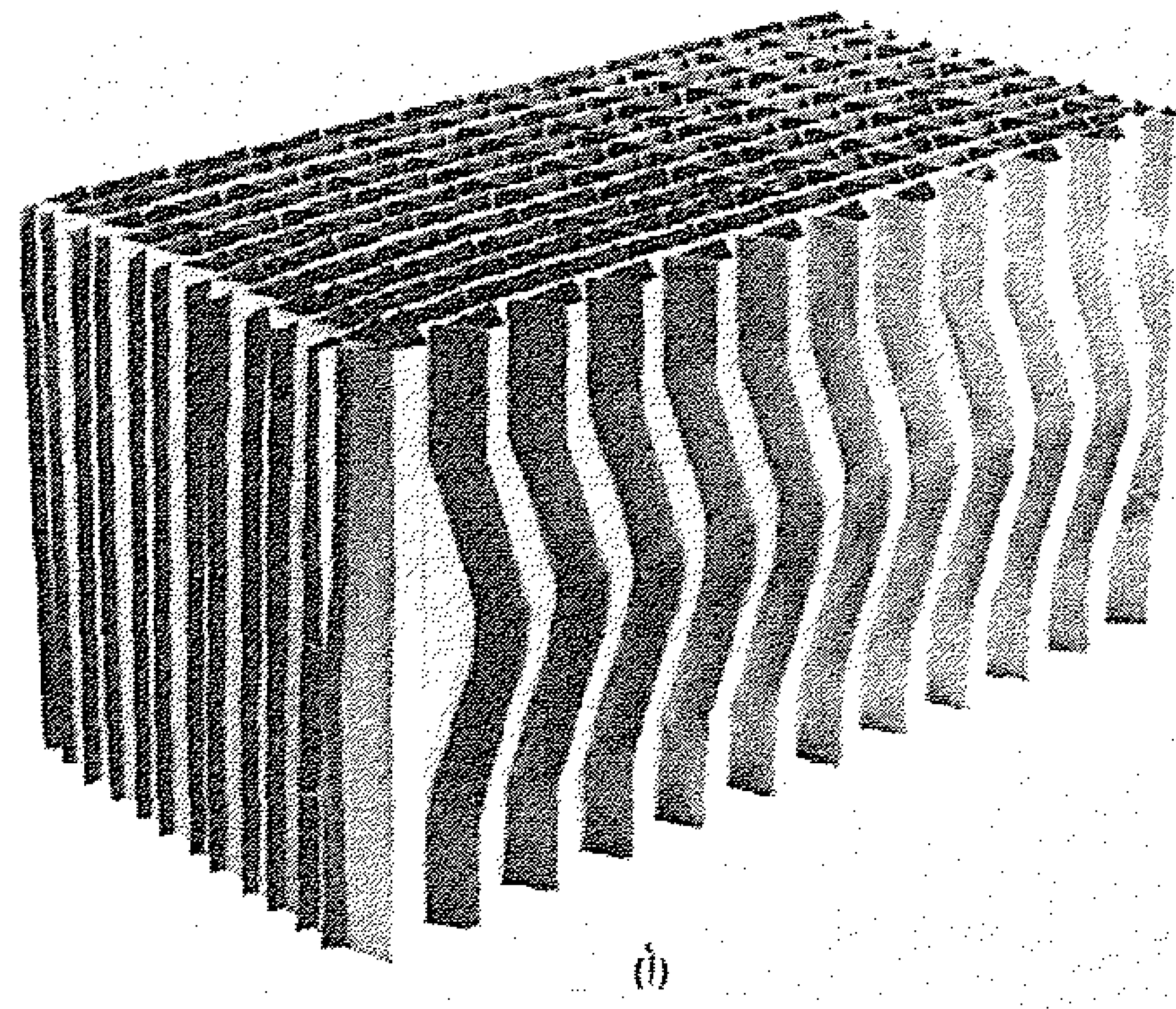
الأبراج الحيوية

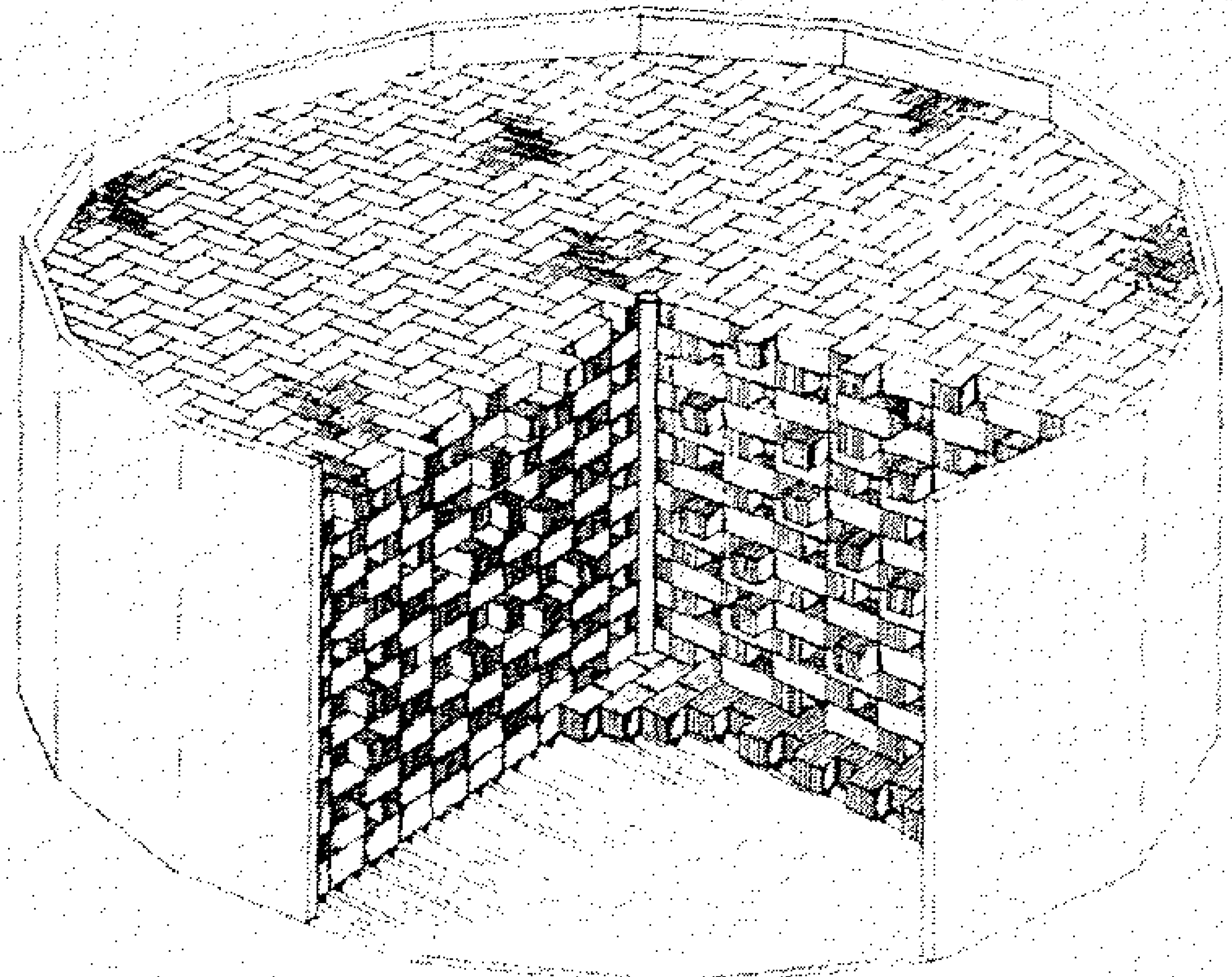
تُصنّع أنواع مختلفة من الأوساط البلاستيكية للمرشّحات التقطّرية. ومزيّتها الأساسية مقارنةً بالأوساط الحجرية هي سطحها النوعي الكبير (المساحة السطحية مقسومة على واحدة الحجم) مع نسبة مئوية كبيرة متوافقة من حجم الفراغات والتي تسمح بنمو وحل حيويٍّ وفير بدون إعاقة مرور الهواء للتزويد بالأكسجين. ومن مزاياها الأخرى، أوساطها المتجانسة التي توفر توزيعاً أفضل للسائل، وخفّة وزنها ما يسمح بإشادة مرشحات أعمق، وارتفاع المقاومة للمواد الكيميائية، والقدرة على التعامل مع مياه صرف ذات قوة أكبر.

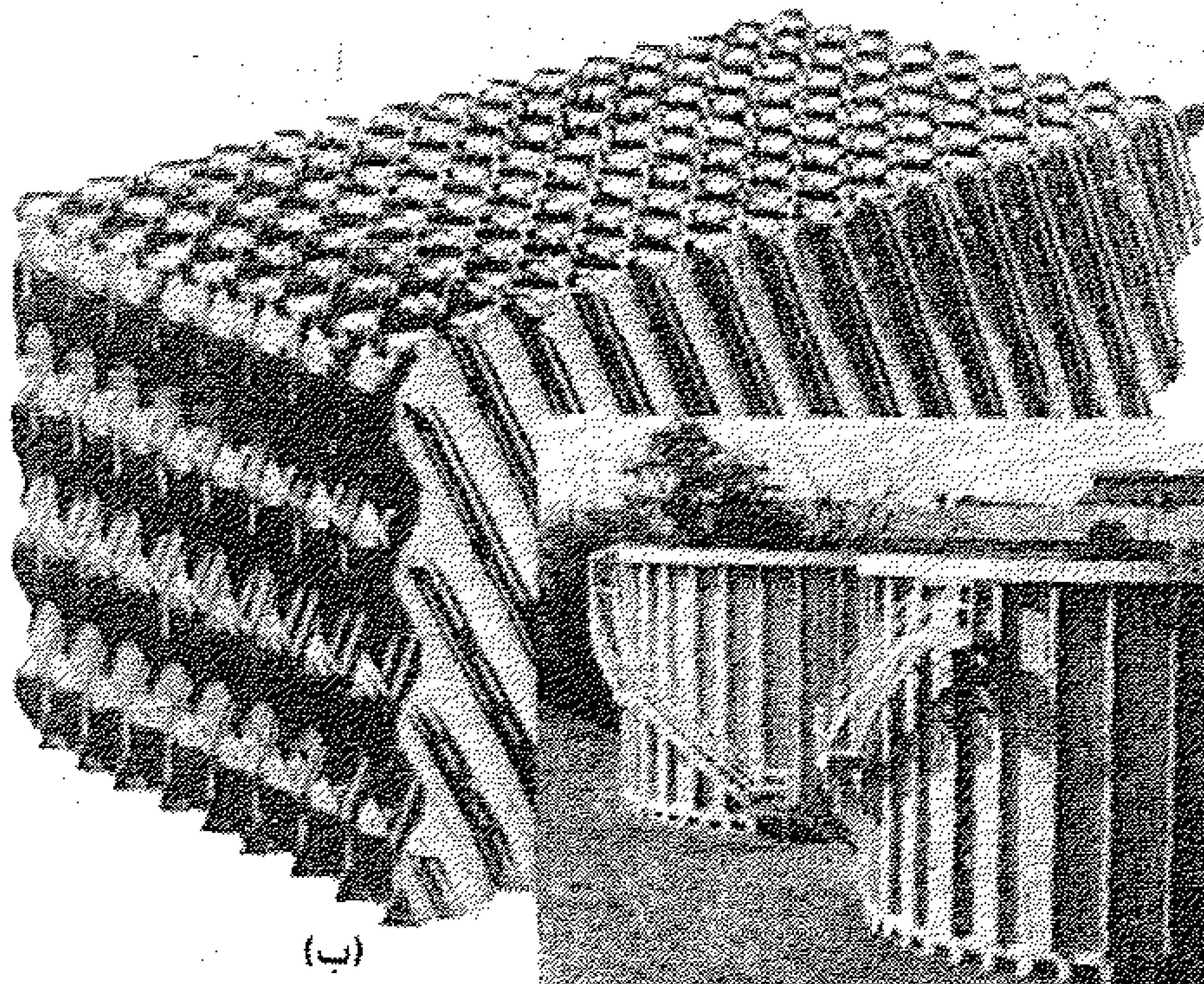
والأنواع الشائعة للأوساط للمرشحات الضحلة هي وحدات عالية الكثافة عرضية على الانسياب، ومحزّمة عشوائياً، ومكدّسة أسوةً بالأوساط الحجرية،

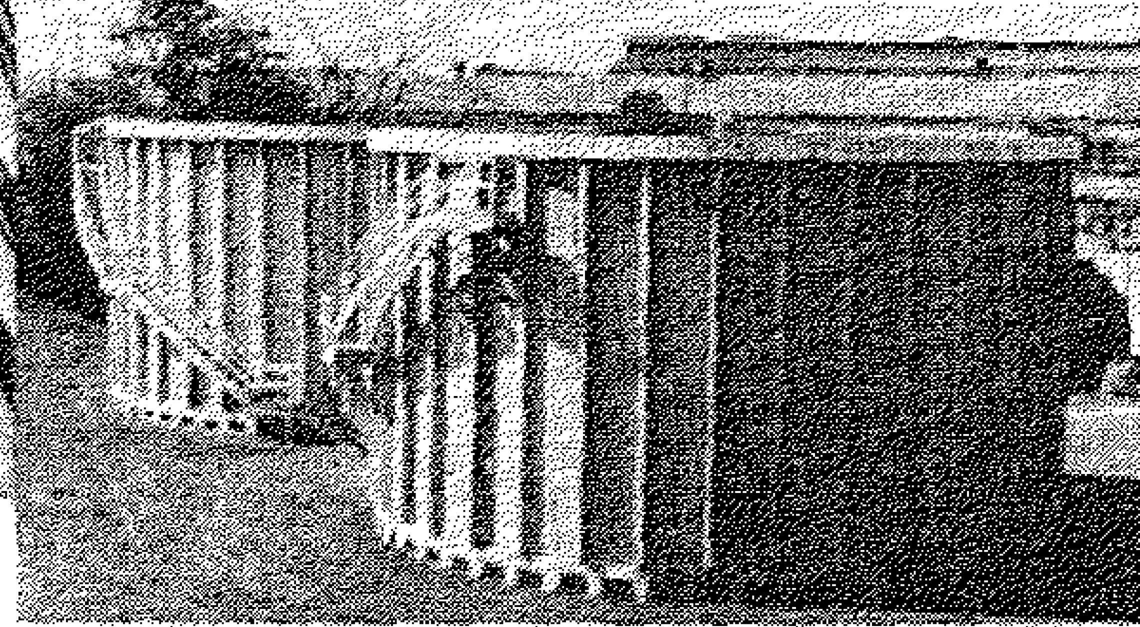
ويمكنها التكيّف ضمن خزان دائري. إن الحشوة العشوائية النموذجية هي أسطوانات قصيرة ذات جدران مثقَّبة وأضلاع داخلية مصنوعة من البلاستيك بأبعاد .2 in إلى .4 in . ويبلغ السطح النوعي $30\ ft^2/ft^3$ إلى $40\ ft^2/ft^3$ ($100\ m^2/m^3$ إلى $130\ m^2/m^3$)، وبحجم فراغات قدره 91% إلى 94%. الحشوة خفيفة الوزن وتوضع في خزان المرشح برميها فيه فوق التصريف السفلي. ونظراً إلى تكديسها عشوائياً، يكون المرشح فعّالاً في توزيع مياه الصرف المطبقة على سطوح الوسط حيث تقطر نحو الأسفل عبر الطبقة. تصنع وحدات التراكم بترتيبات داخلية مختلفة من حزم البولي فينيل كلوريد (PVC)، عرضها .2 in وطولها .4 in وارتفاعها .2 in. إن الوحدة المبينة في الشكل (11-26أ) ذات صفائح متموّجة مثبّتة بين صفائح مستوية وذلك لمنع طرح الفتحات الشاقولية وتوزيع مياه الصرف على سطوح الوسط. يتباين السطح النوعي تبعاً للمصنّع من $26\ ft^2/ft^3$ إلى $43\ ft^2/ft^3$ ($85m^2/m^3$ إلى $140\ m^2/m^3$)، ويكون حجم الفراغ حوالى 95%. تتكون الوحدة العرضية للانسياب المبينة في الشكل (11-26 ب) من صفائح متموّجة مضلَّعة صلبة وأضلاع على الصفائح المجاورة بزوايا 45° إلى 60° باتجاه كل منها وتلتصق ببعضها البعض عند تماس الأضلاع. ومع انسياب مياه الصرف نحو أسفل الأوساط، تسمح كل نقطة تماس بشطر الانسياب وبدمجه.

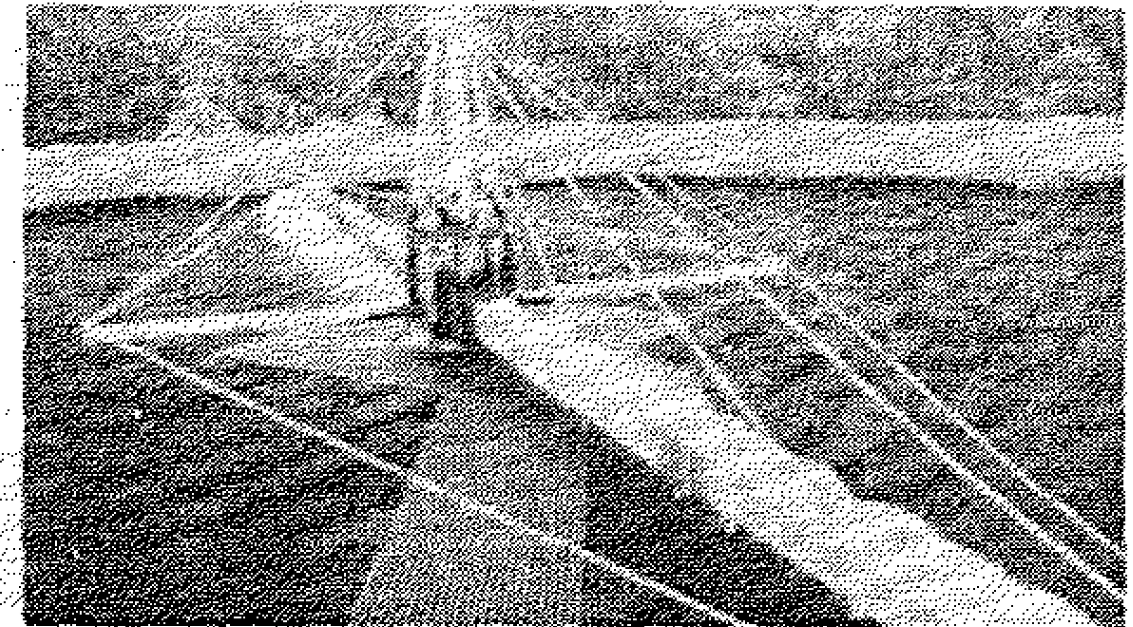
يؤمِّن نمط الانسياب المستعرض هذا ترطيباً أفضل للسطوح ويبطِّئ معدل الانسياب نحو الأسفل، الأمر الذي يتسبب بزمن احتفاظ هيدروليكي متزايد في الطبقة. يبلغ السطح النوعي لأوساط الانسياب المستعرض منخفض الكثافة قيمة 27 ft^2/ft^3 ($90\ m^2/m^3$)، ولعالي الكثافة قيمة $42\ ft^2/ft^3$ ($140m^2/m^3$). إن قوة الوحدات مناسبة لدعم الحشوة بنموٍ حيويّ رطبٍ مرافق في الأبراج ذات الارتفاع البالغ 20 ft. تُكدَّس رزمُ الأوساطِ كي تتشابك لتأمين ثبات بنيوي، ويمكن قطعها لمواءمة حافة وحدة برج دائري مجهز بموزِّع دوراني (شكل 11-26 ج، د، هـ).


(أ)


(ج)

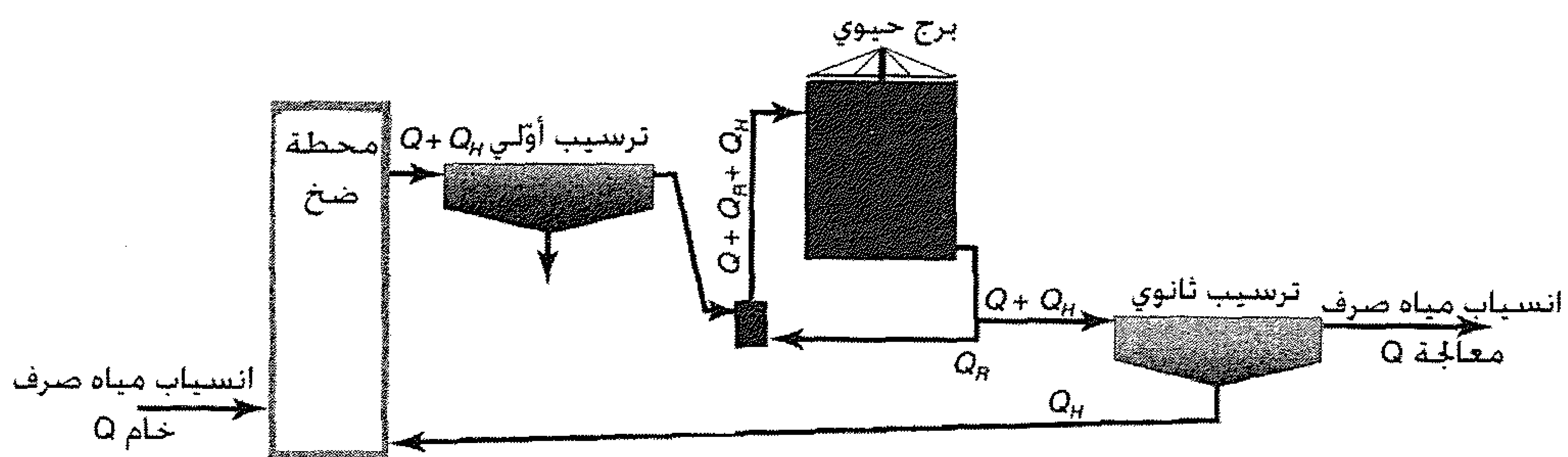

(ب)


(د)


(هـ)

شكل 11-26: أوساط برج حيوي وبنيته (أ) وحدة انسياب شاقولي ذات صفائح متموّجة مثبتة بين صفائح مستوية. (ب) وحدة عرضية للانسياب ذات صفائح متموجة مجمّعة مع الصفائح المجاورة بنمط عرضي. (ج) مقطع يظهر بنية البرج الحيوي الدائري. (د) صورة لبرجين حيويين. (هـ) ذراع توزيع ينشر مياه الصرف على أوساط البرج (موافقة **TLB Corporation, Newington. CT.**)

يُظهر الشكل 11-27 منظراً جانبياً لمحطة ذات أبراج حيوية. يتطلب الأمر ترويقاً أولياً لإزالة المواد الصلبة القابلة للترسب والأخرى الطافية وذلك قبل الترشيح. تُمزج إعادة التدوير المباشر للانسياب السفلي من البرج مع مياه صرف خام مروّقة وذلك لتأمين التخفيف ولزيادة الانسياب عبر الأوساط. وبهذا يتم تحسين المعالجة عبر توزيع شاقولي لحمولة الـ BOD عبر كامل ثخانة الطبقة ومرور مياه الصرف عبر المرشح لأكثر من مرة.



شكل 11-27: برج حيوي يظهر إعادة دوران إلى البرج وإعادة دوران غير مباشر للدبال من قمع المروّق إلى الحفرة الرطبة

تكون حمولات الـــ BOD على الأبراج الحيوية عادةً بحدود lb/1000 cu 50 ft/day ($800\ g/m^3.\ d$) أو أكثر مع حمولات هيدروليكية سطحية قدرها sq 1.0 gpm/ft تعتمد حمولة التصميم المنتقاة لمعالجة مياه صرف محدّدة على تركيز الـــ BOD، والانحلال الحيوي، ودرجة الحرارة، ونوع الوحدات، وثخانة الأوساط، ونسبة ونمط إعادة تدوير مياه الصرف.

لقد طُوِّرت معاملات كفاءة للمرشحات البلاستيكية، نظراً إلى أن عدم تجانس الحشوة يمكن أن يتحدد بالسطح النوعي. غير أنه لا توجد معادلات عامة تستطيع أن تصف بدقة إزالة المادة العضوية، ويرجع ذلك جزئياً إلى الأشكال الهندسية المختلفة للأوساط. يؤثر ترتيب الحشوة في زمن احتفاظ السائل في الطبقة، والذي يرتبط بدوره بالحمولة الهيدروليكية وبعمق المرشح. إضافة إلى ذلك، ترتبط إزالة المادة العضوية مباشرة بذوبايتها. وتكون الـــ BOD في المعادلات النظرية الـــ BOD المرشّحة (المُذابة)، وليست الـــ BOD الكليّة كما تُقاس عادة.

تساوي إزالة الـــ BOD المُذابة في مرشح ذي حزم عشوائية أو منتظمة اعتماداً على حركية الترتيب الأول:

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-k_{20}A_sD/Q^n} \qquad \textbf{(10-11)}$$

حيث:

S_e = BOD (مُرشَّح) ذوّاب في التدفق الخارج (mg/l)

S_0 = BOD (مُرشّح) ذوّاب في التدفق الخارج (mg/l)
e = 2.718 (الأسّ النابييري)
k_{20} = معامل معدل التفاعل لدى 20°C، $(gpm/ft^2)^{0.5}[(l/m^2 \cdot s)^{0.5}]$
As = مساحة السطح النوعي للأوساط، ft^2/ft^3 (m^2/m^3)
D = عمق الأوساط، ft
Q = الحمولة الهيدروليكية، gpm/ft^2 $(l/m^2 \cdot s)$
n = ثابت الانسياب التجريبي، (يختار عادةً بقيمة 0.5 لأوساط الانسياب الشاقولي والانسياب المستعرض).

يُصحّح معامل معدل التفاعل بالنسبة إلى درجة الحرارة باستخدام المعادلة

$$k = k_{20}\theta^{T-20} \quad \textbf{(11-11)}$$

حيث

k معامل معدل التفاعل لدى درجة حرارة T، °C
k_{20} معامل معدل التفاعل لدى درجة حرارة 20°C
θ معامل درجة حرارة يختار عادةً بقيمة 1.035
T درجة حرارة مياه الصرف، °C

يعطى تراكيز الـــ BOD لمياه الصرف التي تجري معالجتها قبل وبعد التخفيف بانسياب إعادة تدوير صاف بالمعادلة

$$S_0 = \frac{S_p + R\,S_e}{1+R} \quad \textbf{(12-11)}$$

S_0 = BOD ذوّاب في التدفق الداخل بعد التخفيف مع انسياب إعادة التدوير، (mg/l)
S_p = BOD ذوّاب في التدفق الأولي قبل التخفيف مع انسياب إعادة التدوير، (mg/l)
S_e = BOD ذوّاب في التدفق الخارج، (mg/l)
R = BOD نسبة إعادة التدوير للانسياب المعاد تدويره/ انسياب تدفّق خارج أولي، (Q_R/Q_P)

وبدمج المعادلات (10-11) و(11-11) و(12-11)

$$\frac{S_e}{S_p} = \frac{e^{-k_{20}\theta^{T-20}A_s D/[Q_p(1+R)]^n}}{(1+R) - e^{-k_{20}\theta^{T-20}A_s D/[Q_p(1+R)]^n}} \qquad (13\text{-}11)$$

حيث

S_e = BOD ذوّاب (مرشح) في التدفق الخارج، (mg/l)

S_p = BOD ذوّاب في التدفق الخارج الأولي قبل التخفيف مــع انــسياب إعــادة تدوير، mg/l

Q_p = حمولة هيدروليكية للتدفّق الخارج الأولي بدون انسياب إعادة تدوير، gpm/ft^2

وهذه المعادلات تبسيط للتفاعلات الحيوية – الفيزيائية التي تجري في المرشّحات التقطرية. تتباين قيم معامل معدل التفاعل K_{20} بتباين الأوساط ذات الترتيب المختلف حتى ولو كان لها مساحات السطوح النوعية نفسها. كما يختلف المعامل باختلاف قابلية مياه الصرف على المعالجة وباختلاف عمق الأوساط. إن المجال التقريبي لقيم K20 لأوساط الانسياب الشاقولي ما بين 0.0008 و0.0016 $(gpm/ft^2)^{0.5}$ [(0.0010 إلى 0.0020) $(l/\ m^2\ .\ s)^{0.5}$]، وللأوساط العرضيّة على الانسياب ما بين 0.0012 و0.0023 $(gpm/ft^2)^{0.5}$ [(0.0017 إلى 0.0028) $(l/\ m^2\ .\ s)^{0.5}$]. إن قيم K_{20} للأوساط العرضية على الانسياب أعلى من تلك لأوساط الانسياب الشاقولي، والذي يُعزى إلى زمن تماس أطول وتوزيع أفضل لانسياب مياه الصرف. ويقدِّم المصنعون غالباً بيانات حقلية للتحقق من معاملات معدل التفاعل للأوسط التي يصنعونها، ويوصى بالقيام بدراسات تجريبية باستخدام أوساط منتقاة لتقدير K_{20} لتصميم المحطة.

مثال 11-4

تتكون محطة معالجة ذات مرشح تقطري أحادي المرحلة من مروّق أولي، ومرشح تقطري قطره 70 in. وعمقه 7 in. وذي حزم عشوائية، ومروّق ثانوي. يبلغ الــ BOD المُذاب (المرشح) بالتدفق الخارج الأولي 100 mg/l، ودرجة حرارة مياه الصرف 15°C. إن ثوابت الأوساط البلاستيكية العشوائية هي n = 0.44، K_{20} = 0.0026

$(gpm/ft^2)^{0.5}$، A_s = 35 ft^2 /cu ft احسب BOD المُذاب في التدفق الخارجي بافتراض أن إعادة التدوير غير المباشر إلى الحفرة الرطبة تبلغ 0.40 mgd.

الحل

مساحة المرشح

$3.14 \times (35)^2 = 3850$ sq ft

$$Q_p = \frac{800,00 \text{ gal/day}}{1440 \text{ min/day} \cdot 3850 \text{ sq ft}} = 0.144 \text{ gpm/ft}^2$$

R = 0.4/0.8 = 0.5

أما أس e في المعادلة 11−13 فيساوي

$$\frac{-0.0026 \cdot (1.035)^{15-20} \cdot 35 \cdot 7}{[0.144\ (1+0.5)]^{0.44}} = -1.05$$

وبالتعويض في المعادلة 11-13، نجد

$$\frac{Se}{Sp} = \frac{e^{-1.05}}{(1+0.5) - 0.5 \times e^{-1.05}} = 0.26$$

الـــ BOD الذوّاب في التدفق الخارج:

2.06×100 mg/l = 26 mg/l

مثال 11-5

برج حيوي قطره 24.3 ft (A= 464 sq ft) ويبلغ عمق الأوساط فيه 20 ft . الحشوة فيه مكوّنة من وحدات عرضيّة على الانسياب ذات $0.0018\ (gpm/ft^2)^{0.5}$ k_{20} =، A_S = 42 ft^2/ft^3، وn = 0.50. يساوي انسياب مياه الصرف المترسبة Q_p= 0.5 mgd بمحتوى BOD = 162 mg/l، وS_0 = 0.80 mg/l ودرجة حرارة 15°C . تبلغ إعادة التدوير R = 1.0 لمعدل ترطيب الأوساط يساوي 0.75 gpm/ft^2. احسب حمولة BOD المُذاب وحمولة BOD غير المرشح بالباوندات لكل 1000 cu ft من

الحشوة باليوم. احسب BOD المُذاب في التدفق الخارجي S_e مقدراً بـــ mg/l، واحسب BOD غير المرشّح بافتراض أن 50% من BOD التدفق الخارجي، ذوّاب.

الحل

حجم الحشوة

$\cdot 464\ ft^2 \cdot 20\ ft = 9280\ ft^3$

حمولة BOD المُذاب

$$\frac{0.50\ mgd\ .0.80\ mg/l\ .8.34}{9.28} = 73\ lb/1000\ cu\ ft/day$$

ويساوي أس العدد النيبري e

$$\frac{-0.0018\ .\ (1.035)^{15-20}\ .\ 42.20}{[0.75\ (1+1.0)]^{0.50}}$$
$= 0.12$

وبالتعويض في المعادلة 11-13

$$\frac{Se}{Sp} = \frac{e^{-1.20}}{(1+1.0) - 1.0\ x\ e^{-1.20}}$$

BOD المُذاب في التدفق الخارجي:

$0.12 \cdot 80\ mg/l = 10\ mg/l$

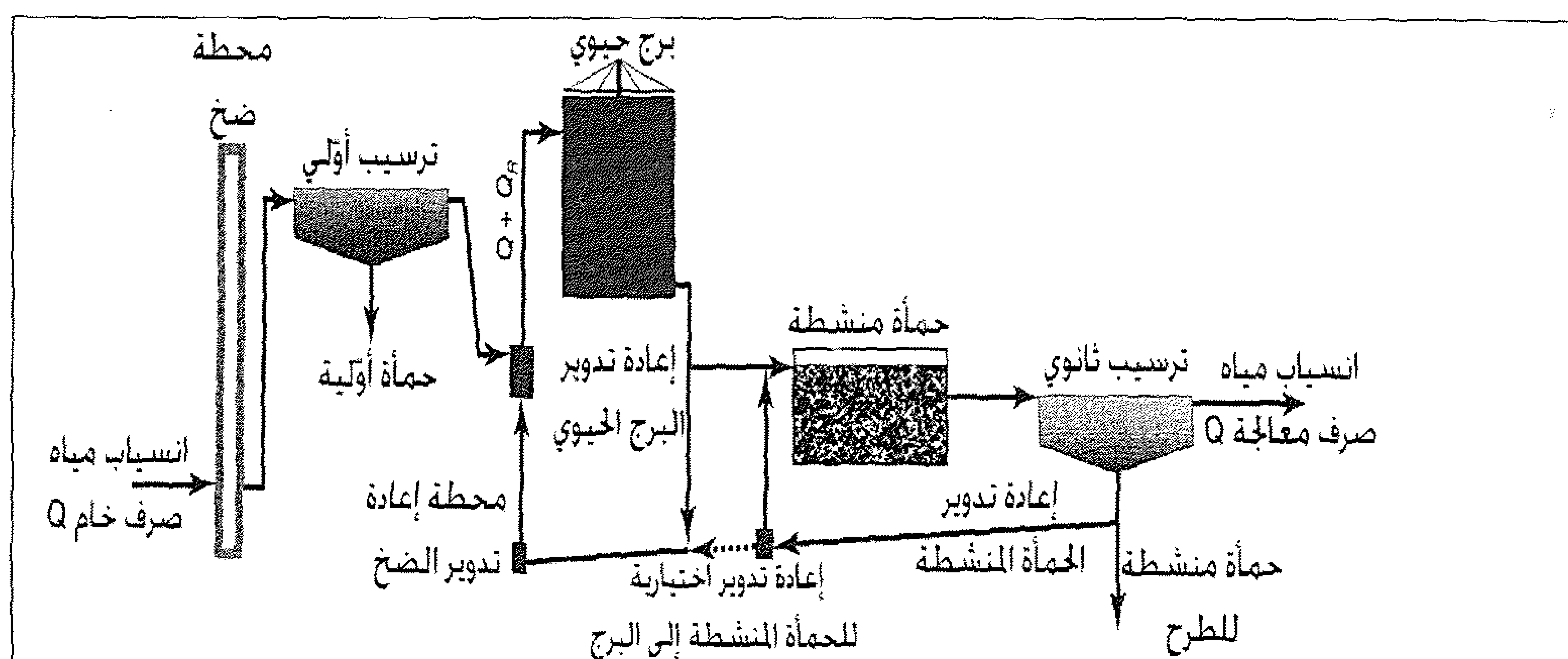
BOD في التدفق الخارجي:

$2 \cdot 10\ mg/l = 20\ mg/l$

عمليتا ترشيح تهوية متحدتان

يمكن توحيد ترشيح البرج الحيوي مع تهوية المرحلة الثانية، وذلك لتحسين المعالجة، وبخاصة معالجة مياه الصرف المدنية ذات قوى متباينة ناتجة من مساهمات مياه صرف موسمية أو صناعية عالية القوة. ويمكن أن تتم هذه العمليات بأنماط انسياب مختلفة، كما هو مبين في مخطط الانسياب بالشكل 11-28.

وإحدى الطرق في ذلك هي تشغيل المرشح خزان التهوية كعمليات متتابعة مستقلة. يتم تشغيل البرج الحيوي كمرشح أوليٍّ عبر إعادة تدوير مباشر لحمولة هيدروليكية مناسبة، بحيث تمر مياه الصرف المرشّحة عبره إلى المرحلة الثانية. يمكن تشغيل عملية التهوية كتهوية بسيطة لتحسين إمكانية ترسيب المواد الصلبة الحيوية في التدفق الخارج من المرشح أو كعملية حمأة منشطة عبر إعادة الكدرة الحيوية المترسبة من المروّق الثانوي.



شكل 11-28: منظر جانبي للترشيح وعملية التهوية المتحدين مع إعادة تدوير مباشر عبر البرج مع إعادة تدوير الحمأة المنشطة من قاع المروّق الثانوي. تتم إعادة تدوير الحمأة المنشطة إلى البرج إذا كانت قوة مياه الصرف عالية وإذا احتوى البرج أوساطاً بلاستيكية

يقوم نمط انسيابٍ بديل بإعادة تدوير جزء من الكدرة الحيوية المترسبة من المروّق إلى التدفق الداخل إلى المرشحٍ ليشكل حمأةً منشّطة يُعاد تدويرها عبر كلٍّ من المرشح وخزان التهوية. ويُشار إلى هذه العملية بأسماءٍ عدّة منها ترشيح حيوي منشط (Activated Biological Filtration) (ABF)، حمأة منشطة بترشيح حيوي منشّط، وعملية تماس المواد الصلبة مع الترشيح التقطّري. ولهذا النظام المركّب خصائص عمليات كل من النمو الثابت والنمو المعاق. يُحسّن السائل المزيج في خزان التهوية من إزالة الـ BOD غير القابل للترسيب والمُذاب في التدفق الخارج من المرشح. وبسبب الثبات الجيد للعملية، يمكن وباستمرار إنتاج تدفّق خارج

بنوعية جيدة. وبطريقة ما، يمكن للمرشح الحيوّي في هذه العملية أن يتصرف وكأنه مهوّي ثابت، ولذلك فإنه وبزيادة الحمولة الهيدروليكية عبر إعادة التدوير، يزداد نقل الأكسجين. وعلى أيّ حال تمت إعادة تدوير المواد الصلبة الفائضة في الحمأة عبر المرشح الحيوي، فالاحتياج للأكسجين سوف يتجاوز قدرة نقل الأوساط ويحدّ بالتالي من إزالة الـــ BOD.

إن معادلات الترشيح وعملية التهوية المتحدين لم تُصَغ بنجاح لصعوبة تحليل النظام. وفي ما يأتي مجالات متحوّلات التصميم والتشغيل المختلفة لأنظمة المعالجة هذه: نسبة الحجم الكلّي (أوساط المرشح وخزان التهوية) وهذا يساوي حجم خزان التهوية، 40% إلى 70%، حمولة النظام من الـــ BOD استناداً إلى الحجم الكلّي 20-50 lb/1000 cu ft/day، ($320\text{-}800\ g/m^3 . d$)، نسبة الغذاء إلى المتعضيات المجهرية 0.2 إلى 1.0 بقيمة وسطى قدرها 0.5، وقيمة BOD في التدفق الخارج، والمواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج 5 mg/l إلى 25. ويعتقد كوادر التشغيل في معظم المحطات أن قدرة هذا النظام على امتصاص الحمولات المفاجئة أعلى، كما إنه أكثر استقراراً من عملية الحمأة المنشطة التقليدية.

مشاكل التشغيل

المشكلتان الرئيستان للمرشحات التقطرية ذات الأوساط الحجرية هما نوعية التدفق الخارج والروائح الكريهة، وكلاهما مترافق مع الحمولة العضويّة، ومياه الصرف الصناعية، والتشغيل في الطقس البارد. تبلغ كفاءة إزالة الـــ BOD لمحطة ذات مرشح أحادي المرحلة 85%. لذلك، للوصول إلى BOD قدره 30 mg/l في التدفق الخارج، ينبغي أن تكون مياه الصرف الخام بالأصل مياه صرف محلية بمحتوى BOD لا يتجاوز 200 mg/l. فإن كانت مياه الصرف المدنية تحتوي على مساهمات معتبرة من مياه الصرف الصناعية، من الضروري اللجوء إلى نظام ترشيح ثنائي المرحلة، للإيفاء بمتطلبات معايير التدفق الخارجي المطلوبة. وفي المناخات الشمالية، قد تكون درجة حرارة مياه الصرف التي تمر عبر الطبقة

أخفض إلى حد كبير في الشتاء وقد تعكس تأثير إزالة الــ BOD. ويمكن وضع أغطية على المرشحات التقطرية للمحافظة على درجة الحرارة خلال الطقس البارد.

إن النطاق الميكروبي المجاور مباشرة لسطح الأوساط، لاهوائي وقادر على إنتاج منتجات نهائية متأيضة ذات روائح كريهة. ويبدو أن المركَّبات المُرجعة التي تشكلت خلال معالجة مياه الصرف المحلية ككبريتيد الهيدروجين ستتأكسد خلال تحركها عبر النطاق الهوائي الذي يتمتع بتهوية مناسبة. وقد يتطلب الأمر تهويةً بهواء مدفوع بقوة إضافةً إلى برج لتنظيف الهواء بهدف إزالة الرائحة من الهواء المُستنزَف، والمحافظة على مرور مناسب للهواء عبر الطبقة، ولمنع وجود جوٍّ أكّال وعدواني تحت القبة.

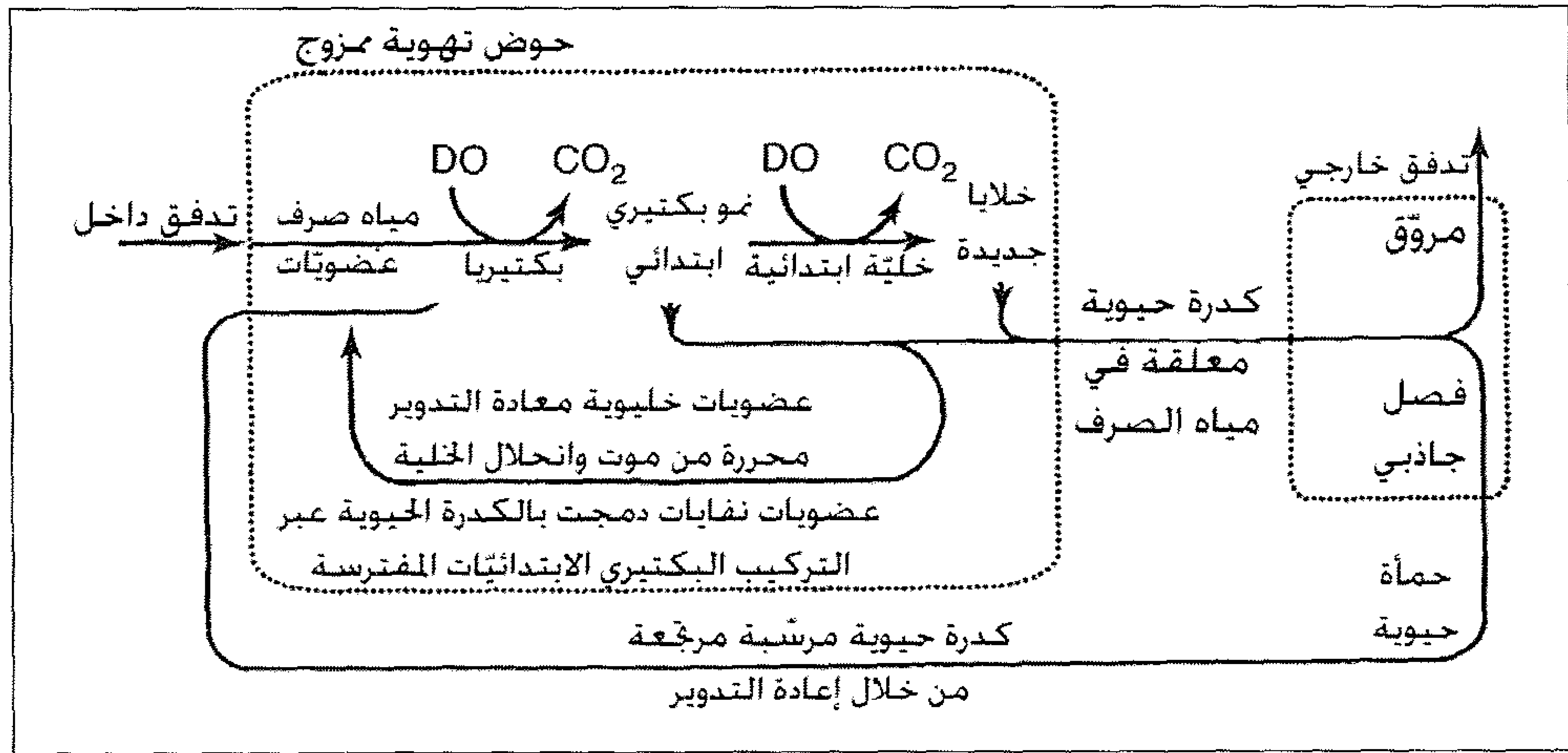
إن الأبراج الحيوية التي تستخدم مواد صناعية أقل عرضةً لمشاكل تشغيلية تتعلق بضبط النوعية والرائحة، مقارنةً بمشاكل طبقات الأوساط الحجرية. ويرجع ذلك بالدرجة الأولى إلى التهوية المُحسّنة والتوزيع الهيدروليكي لمياه الصرف. إلا أن مشاكل الرائحة المحتملة وتأثير الطقس البارد يجب أن تؤخذ بالاعتبار في تصميم وتشغيل أنظمة المعالجة التي تتضمن أبراجاً حيوية.

يعتبر ذباب المُرشح (سيكودا Psychoda)، مشكلةً مزعجةً تتركز قرب المُرشِّحات في الطقس الحار. يتناسل هذا الذباب في النطاقات الظليلة للأوساط وكذلك على السطوح الداخلية للجدران الفاصلة. وبالرغم من حمل الهواء لهذا الذباب الصغير لمسافات بعيدة، إلا أنه يبقى يشكِّل مضايقةً كبيرةً لكادر التشغيل. إن الرشّ الدوري للمنطقة المحيطية ولجدران المُرشّح بالمبيدات الحشرية طريقةً شائعةً لمكافحة هذا الذباب. ينمو الحلزون على الجدران الداخلية وأوساط المرشح، وتسرّع قواقع الحلزون من تآكل المضخات، إضافةً إلى تراكمها في الأنابيب والخزّانات في أسفل الانسياب.

11-6 التهوية الحيوية

يتطلب فهم عمليات التهوية في معالجة مياه الصرف معرفةً معمقة بالعلوم الحيوية أكثر مما يتطلبه الترشيح الحيوي. لذلك يُشجّع القارئ على استعراض المناقشات حول البكتيريا والابتدائيات في الفقرات 3-1 و3-2 وحركيات الكائنات في الفقرة 3-11.

يوضّح الشكل 11-29 العملية الحيوية العامة التي تحدث في نظام تهوية. تحوي مياه الصرف الخام المنسابة إلى حوض التهوية BOD للمادة العضوية بصورة إمداد بالغذاء. تقوم البكتيريا بتأييض المادة العضوية منتجة نمواً جديداً بينما تستهلك الأكسجين المُذاب وتحرّر ثاني أكسيد كربون. تجرف الابتدائيات البكتيريا وتتغذى عليها لإنتاج الطاقة. يموت بعض النمو الميكروبي الجديد محرِّراً محتويات الخلية حيث يقوم المحلول بإعادة تركيبها.



شكل 11-29: عملية حيوية عامة في معالجة التهوية (حمأة منشطة)

وبعد إعادة أعداد كبيرة من العضويات المجهرية، تؤدي تهوية مياه الصرف الخام لبضع ساعات إلى إزالة المادة العضوية من المحلول عبر تركيبها في خلايا مكروبية. يتم نقل المحلول الممزوج إلى المروّق باستمرار من أجل الفصل الثقالي للكدرة البيولوجية ولطرح التدفق الخارج المروّق أيضاً. تتم إعادة الكدرة المترسبة إلى حوض التهوية لمزجها مع مياه الصرف الخام الداخلة. يُشار عموماً إلى محلول معلّق العضويات المجهرية في حوض التهوية باسم المحلول الممزوج، كما يسمى النمو الحيوي باسم المواد الصلبة المعلّقة في المحلول الممزوج (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS). أما اسم الحمأة المنشطة فقد نشأ إشارة إلى إعادة

المعلّق الحيوي، نظراً إلى أنه قد لوحظ أن هذه الكتل من العضويات المجهرية "نشيطة" في إزالة المادة العضوية المُذابة من المحلول. إن عملية الاستخلاص هذه هي استجابة أيضيّة للبكتيريا التي هي في حالة التنفس الداخلي أو "الموت جوعاً". إن عملية الحمأة المنشطة هي عملية هوائية فعلاً نظراً إلى أن الكدرة الحيوية معلّقة في محلول ممزوج حاو على الأكسجين.

حمولات حوض التهوية

تتحدّد عملية الحمأة المنشطة بفترة التهوية، وبحمولة الـــ BOD بواحدة الحجوم، وبنسبة الغذاء إلى العضويات المجهرية، وبعمر الحمأة. تُحسب فترة التهوية بطريقة حساب زمن الاحتفاظ نفسها. وباستخدام المعادلة 11-3 فإن V هي حجم خزان التهوية وQ هي حجم مياه الصرف الداخلة، بغض النظر عن انسياب إعادة الدوران. ويعبر عادةً عن حمولة BOD بعدد الباوندات من الـــ BOD المطبقة في اليوم لكل cu ft من حجم السائل في حوض التهوية (عدد الغرامات بالمتر المكعَب باليوم). ويمكن حساب ذلك باستخدام المعادلة 11-5، حيث V حجم سائل أحواض التهوية، وليس حجم أوساط المرشح التقطري.

إن نسبة الغذاء إلى العضويات المجهرية (F/M) طريقة للتعبير عن حمولة الـــ BOD بالتناسب مع الكتلة الميكروبية في النظام. تحسب المعادلة 11-14 قيمة (F/M) كقيمة BOD المطبقة في اليوم بواحدة الحجم من المواد الصلبة المعلّقة (في المحلول الممزوج في خزّان التهوية (واحدة حجم (MLSS)/يوم/ BOD).

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times \mathrm{BOD}}{V \times \mathrm{MLSS}} \qquad \textbf{(14-11)}$$

حيث (F/M) = نسبة الغذاء إلى العضويات المجهرية، عدد باوندات BOD في اليوم لكل باوند من (MLSS) = (عدد غرامات BOD في اليوم لكل غرام (MLSS)

Q = انسياب مياه الصرف بملايين الغالونات في اليوم (أمتار مكعبة باليوم).

BOD = BOD مياه الصرف، ميليغرام باللتر (غرامات بالمتر المكعب).

V = حجم السائل في خزان التهوية، ملايين الغالونات (أمتار مكعبة).

(MLSS) = المواد الصلبة المعلّقة في المحلول الممزوج في حوض التهوية، (غرامات بالمتر المكعب).

يعبر بعض المؤلفين عن (F/M) بمصطلحات كتلة الـ BOD في اليوم في واحدة الكتلة من (MLSS).

أما عمر الحمأة، والذي يُشار إليه بمتوسط زمن احتفاظ الخلية، فهو متحوّل تشغيلي مرتبط بنسبة (F/M). وبينما تتباين أزمنة احتفاظ المحلول (فترات التهوية) من 3hr إلى 30hr، يكون زمن احتفاظ المواد الصلبة الحيوية في النظام أكثر بكثير ويقاس بالأيام. وبكلمات أخرى، بينما تمر مياه الصرف عبر التهوية مرةً واحدةً فقط وبسرعة، يُعاد وبشكل متكرر تدوير النمو الحيوي الناتج ونفايات المواد العضوية المستخلصة من المروّق إلى خزان التهوية. لقد طُوِّرت صيغ متعدّدة لحساب قيمة عمر الحمأة، وأكثرها شيوعاً تُحدّد عمر الحمأة استناداً إلى (MLSS) في خزّان التهوية بالنسبة إلى كتلة المواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج لمياه الصرف وفي حمأة النفايات.

عمر الحمأة:

$$\frac{V \times MLSS}{SS_e \times Q_e + SS_w \times Q_w} \quad \textbf{(15-11)}$$

حيث عمر الحمأة = متوسط زمن احتفاظ الخلية، أيام

(MLSS) = (مواد صلبة معلّقة في المحلول الممزوج)، ميلليغرامات باللتر.

V = حجم خزّان التهوية، ملايين الغالونات (أمتار مكعَبة)

SS = SSe في التدفق الخارج لمياه الصرف، ميلليغرامات باللتر.

Qe = كمية التدفق الخارج لمياه الصرف ملايين الغالونات في اليوم (أمتار مكعَبة باليوم).

SS = SSw في حمأة النفايات، ميلليغرامات باللتر.

Qw = كميّة حمأة النفايات، ملايين الغالونات في اليوم (أمتار مكعَبة باليوم).

يمكن التعبير عن حمأة النفايات بمصطلحات المواد الصلبة المعلقة الطيّارة، بحجة أن الجزء الطيّار في المواد الصلبة المعلّقة أكثر تمثيلاً للكتلة الحيوية. يبلغ جزء المواد الصلبة الطيّارة في مرافق تتعامل مع مياه صرف محلية عادية 70% من المواد الصلبة المعلَّقة الكلية.

إن حمولة BOD بواحدة الحجوم وفترة التهوية متحوّلان مرتبطان ببعضهما البعض ويعتمدان على تركيز BOD في مياه الصرف الداخلة وعلى حجم خزان التهوية. فمثلاً إن دخلت انسيابات مياه صرف ذات تركيز 200 mg/l إلى خزان فترة تهويته تبلغ 24 hr فإن حمولة BOD الناتجة ستكون 12.5 lb/1000 cu ft/day. وإن تم تصغير حجم الخزان لتصبح فترة التهوية فيه 8 hr، فستصبح حمولة BOD ثلاثة أمثال لتغدو 37.5 lb/1000 cu ft/day. إن نسبة (F/M) تعبير عن حمولة BOD تبعاً للحالة الأيضية للنظام الحيويّ أكثر من تبعيتها لحجم خزان التهوية. تكمن مزيّة هذا التعبير في أن عدد باوندات BOD في اليوم لباوندات (MLSS)، يحدّد عملية الحمأة المنشطة دون الرجوع إلى فترة التهوية أو قوة مياه الصرف المطبّقة. يمكن لنظامين مختلفين كلياً أن يعملا بنسبة (F/M) نفسها، فمثلاً يمكن لعملية تهوية موسّعة لفترة تهوية قدرها 24 hr وتركيز (MLSS) قدره 1000 mg/l سيكون ذا (F/M) قدرها 0.2 لمياه صرف داخلة ذات BOD قدره 200 mg/l. يمكن لنظام حمأة منشطة تقليدي ذي فترة تهوية قدرها 8 hr أن يعالج مياه الصرف ذاتها لدى نسبة (F/M) نفسها بالعمل بقيمة (MLSS) أعلى تبلغ 3000mg/l .

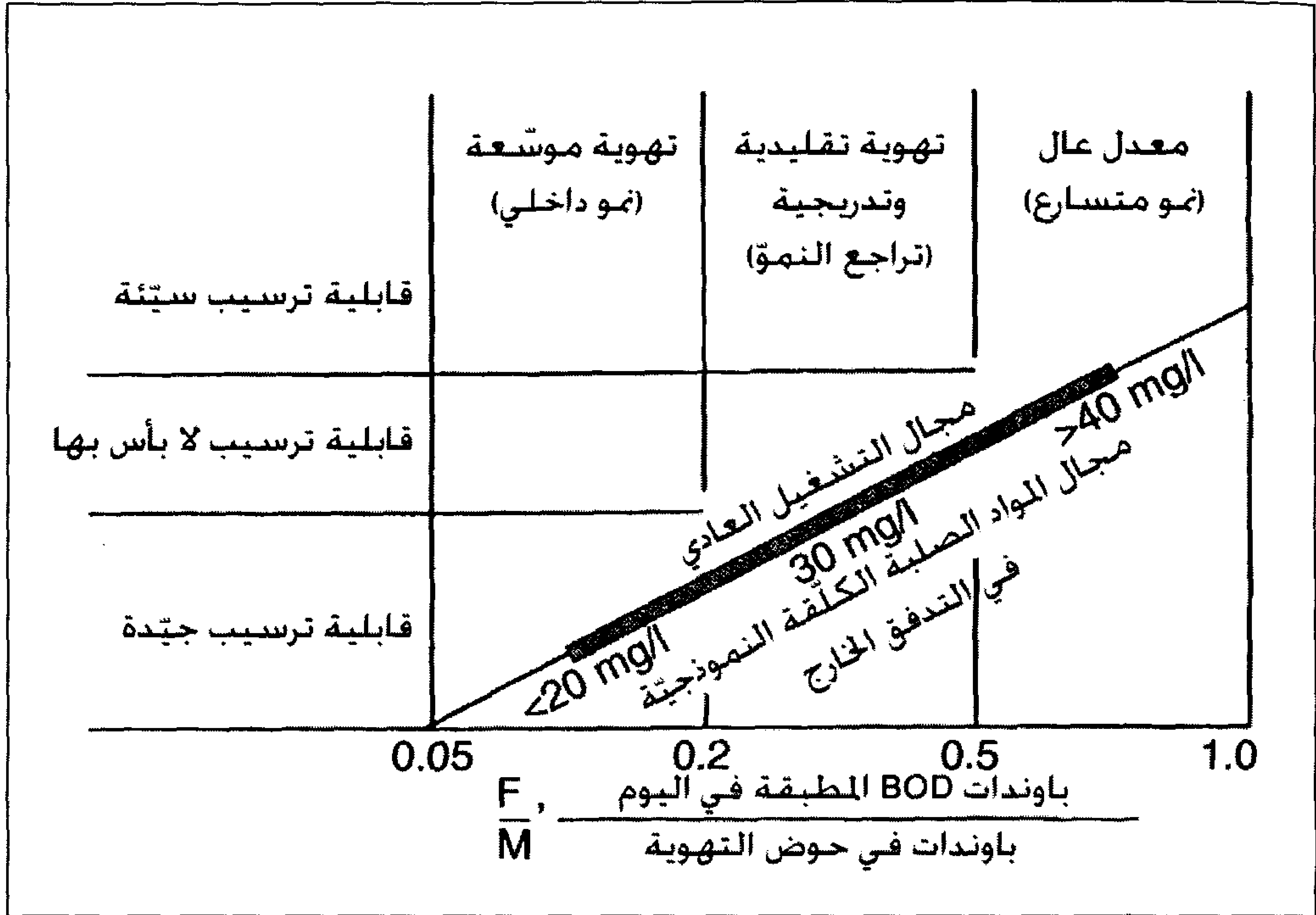
يقدم الجدول 4-11 ملخصاً لحمولات BOD الحجميّة، ونسب (F/M)، وأعمار الحمأة، وفترات التهوية، ومعدلات عودة الحمأة، والكفاءات النموذجية لإزالة الـــ BOD. يتباين تركيز (MLSS) المحتفظ به في خزان التهوية تبعاً لنمط العملية وطريقة التشغيل. وعموماً لم يقدّم تركيز قدره 1000 mg/l، نسبة (F/M) منخفضة

لحد يكفي للوصول إلى قابلية جيّدة لترسيب الحمأة، أما تركيز (MLSS) الذي يتجاوز 4000 mg/l فيتسبب بخسارة المواد المعلّقة في الانسياب الفائض للمروّق. ويتراوح المجال الشائع للتركيز المذكور ما بين 2500-3500 mg/l . يُعبَّر عن معدل عودة الحمأة من المروّق إلى حوض التهوية كنسبة مئوية من التدفق الداخل لمياه الصرف الخام. فمثلاً، إن كان معدل عودة الحمأة المنشطة 30%، وكان انسياب مياه الصرف الخام يساوي 3.0 mgd، فيتم حساب كفاءة BOD عبر تقسيم كمية الـــ BOD المُزالة بالتهوية والترسيب اللاحق على الـــ BOD الداخل.

قابلية ترسيب الحمأة

تعتمد كفاءة المعالجة التي تم التوصل إليها في عملية تهوية، مباشرة على قابلية ترسيب الكدرة الحيوية التي تتكتل وتترسب بواسطة الثقالة في المروّق، تاركةً مادةً طافية صافية يتم طرحُها، وعلى العكس، فإن الجسيمات سيئة التكدّر (كدرات إبرية) أو الناميات الخيطية الطافية، والتي لا تنفصل بتأثير الثقالة تساهم في الـــ BOD، وفي المواد الصلبة المعلّقة، وفي التدفق الخارج لعملية المعالجة. ويُشار إلى الترحيل الزائد للكدرة والمتسبب بتشغيل غير كفؤ، بمصطلح تضخم الحمأة. وهو أمر قد ينتج من ظروف بيئية غير مؤاتية بسبب التهوية غير الكافية، ونقص المغذِّيات، ووجود مواد سامَّة، أو بسبب حمولة زائدة.

تعتمد قابلية ترسيب الحمأة الحية، تحت شروط تشغيل عادية، على (F/M)، وعمر الحمأة. يربط الشكل 11-30 بيانياً بين (F/M) والقدرة على الترسيب. تعمل أنظمة التهوية الموسَّعة وذات فترات التهوية الطويلة وتراكيز (MLSS) العالية نسبياً في طور النمو الداخلي. الأمر الذي ينتج منه كفاءة BOD عالية، وذلك لأن العضويات المجهرية الجوعى تبحث عن المادة العضوية لتكدُّرها بسهولة في ظروفٍ هادئة. وعلى الطرف المقابل، تقتضي التهوية بمعدل عال وجود نسبة (F/M) عالية تسمح بحمولة حجمية أكبر من الـــ BOD وبفترة تهوية مُختَزلة.



شكل 11-30: علاقة تقريبية ما بين قابلية ترسيب حمأة منشطة ونسبة تشغيل الغذاء إلى العضويات المجهرية

وللحمأة المنشطة الناتجة قدرة ترسيب أقل، الأمر الذي ينتج منه وجود مواد صلبة معلّقة تزيد على 40 mg/l في التدفق الخارج. يمكن لكل عمليات التهوية المُدرجة في الجدول 11-4 باستثناء المعدل العالي أن تنتج بثبات تدفقاً خارجاً لا يتعدى محتواه 30 mg/l من الـــ BOD والمواد الصلبة المعلّقة، إن كان مُصمَّماً ومُشغَّلاً بشكل سليم. ويبدو أن مجال النسبة F/M الممتد ما بين 0.2 إلى 0.5، نموذجيٌ للوصول إلى الكفاءة المطلوبة لمعالجة مياه صرف المدن. والحمولات الحجمية في هذا المجال أكبر إلى حد كاف للسماح بفترات تهوية تمتد ما بين 5 إلى 7 ساعات، والسماح من ثم بتكاليف إنشاء وتشغيل اقتصادية.

تأثير درجة الحرارة

يمكن لنوعية التدفق الخارج من عمليات معالجة الحمأة المنشطة التي تجري بشكلٍ جيد في مجال BOD يتراوح ما بين 30 lb/1000 cu ft/day إلى 50 lb/1000 cu ft/day، أن تلبي بوثوقية المعايير الثانوية لمتوسط القيم القصوى للـــ BOD قدره 30 mg/l وللمواد المعلّقة قدره 30 mg/l ودرجة حرارة المحلول الممزوج 10ºC إلى 20ºC (50ºF إلى 68ºF). ولدى حمولات في المجال المنخفض المدرج في القائمة، أو درجات حرارة المحلول الممزوج تقع في المجال المرتفع، ولدى معدل انسياب فائض للمروّق، يُرجّح أن تكون نوعية التدفق الخارج ذات محتوى من المواد الصلبة المعلّقة في مجال 10 mg/l إلى 20 mg/l. يتغيَّر النشاط الحيوي بمقدار الضعف أو النصف لكل تغيُّر في درجة الحرارة يتراوح ما بين 10ºC إلى 15ºC. ولذلك فالنسبة للعمليات الجارية في مجال حمولة ما بين 30 lb/1000 cu ft/day إلى 50 من الــ BOD، فسيكون لانخفاض أو ازدياد درجة حرارة المحلول الممزوج تأثيراً أقل على تغيرات نوعية التدفق الخارج.

تُحدَّد هذه العلاقة ما بين حمولة BOD المسموحة ودرجة حرارة التشغيل، إلى حد ما اختيار معدّات التهوية. ففي المناخ البارد، تكون التهوية المغمورة المنتشرة شائعةً وذلك للتقليل من تبرُّد المحلول الممزوج في أثناء التشغيل في الشتاء.

لا تتسبب مهوّيات السطح بتأثيرات عكسية لدرجة الحرارة. تتأرجح أيضاً فاعلية الترويق بتناقص درجة حرارة مياه الصرف. تتناقص معدلات الترسيب، ولكن التأثير الأكبر ينجم عن التطبّق الحراري ضمن المروّق والذي يخفِّض حجم الترويق الفعّال ويزيد من انقطاع الانسياب. تمرّ المواد الصلبة بأعداد كبيرة فوق السدّ ومن ثم إلى التدفق الخارج من المحطة.

جدول 11-4: موجز لمتحوّلات الحمولات والتشغيل لعمليات التهوية

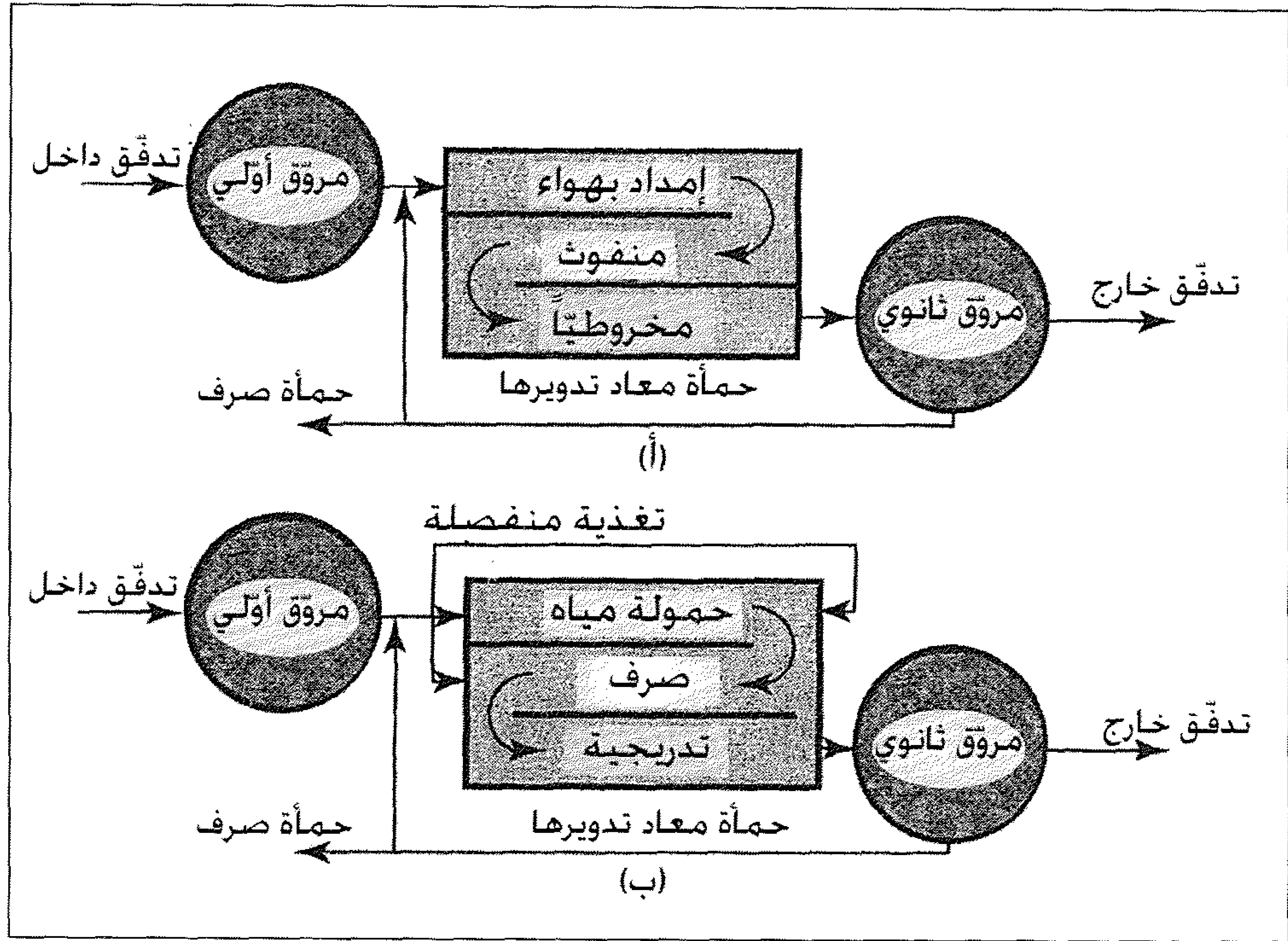
العملية	حمولة الـ BOD^a lb BOD/day/ 1000 cu ft	(MLSS) mg/l	نسبة (F/M) (lb BOD/day/ lb MLSS) [b]	عمر الحمأة (days)	فترة التهوية (hr)	معدلات إعادة الحمأة نسبة	كفاءة إزالة الـ BOD نسبة مئوية
تقليدي	40 - 20	3000-1000	0.5-0.2	15-5	7.5-	40-20	90-80
تهوية تدريجية	60 - 40	3500-1500	0.5-0.2	15-5	7.0-	50-30	90-80
تهوية موسعة	20 - 10	8000-2000	0.2-0.05	≥20	100-	100-	95-85
أكسجين عالي	≥ 120	8000-4000	1.5-0.6	10-3	50-30	50-30	90-80

[a] $1.0\ lb/1000\ cu\ ft/day = 16.0\ g/m^3\cdot d$

[b] $1.0\ lb/day/lb\ MLSS = 1.0\ g/d\cdot g\ MLSS$

تهوية تقليدية وتدريجية

هذه العمليات مشابهة لأنظمة الحمأة المُنشّطة المبكّرة والتي كانت تُركب للمعالجة الثانوية لمياه الصرف المدنية. وكما هو موضّح في الشكل 11-31، فإن حوض التهوية عبارةً عن خزان مستطيل طويل مزوَّد بناشرات هواء على امتداد القاع لتوفير الأكسجة والمزج. وفي حوض تقليدي، يتم نفث الإمداد بالهواء بشكل مخروطي على امتداد طول الخزان لتأمين تهويةٍ أعظميةٍ عند نهاية عُلوِّه، حيث يتم إدخال مياه الصرف الخام والحمأة المنشطة العائدة. يتم التزويد بالهواء بشكل متجانس بتهوية تدريجية، بينما يتم إدخال مياه الصرف، إما بفواصل زمنية أو تدريجياً، وذلك على امتداد الجزء الأول من الخزان.



شكل 11-31: مخططات انسياب لعمليات حمأة منشطة بتهوية تقليديّة ومتدرجة . (أ) تهوية نفث مخروطي تقليدية. (ب) تغذية تدريجية إلى حوض التهوية

توضع نافثات هواء على امتداد قاع الخزان أو تُلحق بحاملات أنابيب تُمدّ على عمق 8 أقدام أو أكثر لتأمين مزج عميق ونقل مناسب للأكسجين. تقوم نافثات فقاعات هواء ناعمة على شكل قباب أو صفائح تهوية مركبة فوق قنوات في قاع الخزان وموزّعة على كامل امتداده بهدف تأمين مزج شاقولي مناسب. يحسّن كلٌّ من صغر فقاعات الهواء والتغطية الواسعة لأرضية الخزان، من نقل الأكسجين ويقللان من الاحتياج إلى الهواء ويخفِّضان حجم نافخات الهواء. وفي تهوية الانسياب اللولبي، يُلحق عدد كبير من أنابيب وبزابيز النفث بموجِّهات الهواء على امتداد أحد جانبي الخزان. ويتم تصنيع عدد كبير من الأنواع المختلفة للأنابيب بما فيها الأنابيب المثقَّبة بأكمام أو من دون أكمام، والبزابيز النفاثة، وكذلك طيف متنوِّع من المرذِّذات المرطِّبة للهواء. وتنتج هذه الأنواع فقاعات أكبر من ما تنتجه النافثات

الخزفية. توصَل المرذِّذات المرطِّبة للهواء بذراع متمفصل، بحيث يمكن قلبها وسحبها خارج الخزان للتنظيف والصيانة.

يُنتِج نمط الانسياب السدّي للخزّانات المستطيلة الطويلة نمط نمو حيوي متأرجح. تتناقص نسبة F/M والتي تكون عالية نسبياً عند مقدّمة الخزان مع انسياب المحلول الممزوج عبر حوض التهوية. ونظراً إلى كون فترة التهوية تستغرق 5 إلى 8 ساعات ويمكن أن تكون أطول من ذلك بكثير إن كان الانسياب متدنياً، فإن العضويات المجهرية تتحرك إلى طور النمو الداخلي قبل عودتها إلى مقدمة حوض التهوية. وينبغي على هذه الكائنات المكروبية الجوعى أن تعتاد سريعاً على إمداد متجدِّد بعضويات الصرف. ولهذه العملية بعض مشاكل عدم استقرار، وذلك عندما تكون انسيابات مياه الصرف أكبر من 0.5 mgd. ولكن وبسبب التغيُّرات الساعيّة الكبيرة في حمولات الصرف من المدن الصغيرة، يمكن أن يعاني نظام الانسياب السدّي التقليدي مشكلات عدم استقرار حيوي خطيرة. ولقد كانت هذه الظاهرة عاملاً رئيساً مساهماً في تطوير تهويةٍ ممزوجة بالكامل بهدف التعامل مع الانسيابات الضئيلة.

مثال 6-11

تعمل محطة حمأة منشطة من دون ترويق أولي تحت الظروف الآتية:

انسياب التصميم = 2.14 mgd

BOD في التدفق الداخل = 185 mg/l

المواد الصلبة المعلّقة = 212mg/l

أحواض التهوية: 4 وحدات، $15.5\ ft \times 40\ ft^2$ عمق

المواد الصلبة المعلّقة في المحلول الممزوج = 2600mg/l

انسياب إعادة التدوير = 1.0 mgd

كميّة حمأة الصرف = 39000 gpd

المواد الصلبة المعلّقة في حمأة الصرف = 8600 mg/l

BOD في التدفق الخارج = 15 mg/l، المواد الصلبة المعلّقة = 15 mg/l

احسب الآتي: فترة التهوية، حمولة BOD، نسبة (F/M)، المواد الصلبة المعلّقة وكفاءة إزالة BOD، عمر الحمأة، ومعدل عودة الحمأة المنشطة.

الحل

حجم حوض التهوية:

$$4\,(40^2)\cdot 15.5\cdot(7.481/10^6)$$
$$= 0.74 \text{ mil gal}$$

d_t لحوض التهوية:

$$0.74 \text{ mil gal} / 2.14 \text{ mgd}\cdot 24$$
$$= 8.3 \text{ hr}$$

حمولة الـــ BOD :

$$\frac{2.14 \text{ mgd}\ .185 \text{ mg/l}\ .8.34}{4\ (40^2).15.5/1000 \text{ cu ft}} =$$
$$= 33.3\ \frac{\text{lb/day}}{1000 \text{ cu ft}}$$
$$\frac{F}{M} = \frac{2.14 \text{ mgd}\ .185 \text{ mg/l}\ .8.34}{0.74 \text{ mil gal}\ .\ 2600 \text{ mg/l}\ \ .8.34}$$
$$= 0.21\ \frac{\text{lb BOD/day}}{\text{lb MLLS}}$$

إزالة المواد الصلبة المعلّقة:

$$\frac{212-15}{15}\,100 = 93\%$$

كفاءة إزالة المواد المعلّقة:

$$\frac{185-15}{185}\,100 = 92\%$$

المواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج:

$$2.14 \text{ mgd}\cdot 15 \text{ mg/l}\cdot 8.34 = 268 \text{ lb/day}$$

المواد الصلبة المعلّقة في حمأة الصرف المنشطة:

$$0.039 \text{ mgd}\ .\ 8600 \text{ mg/l} = 2800 \text{ lb/day}$$

عمر الحمأة:

$$\frac{0.74\ mgd \cdot 2600 mg/l \cdot 8.34}{2800+268\ lb/day} = 2.5\ days$$

2800 + 268 lb/day

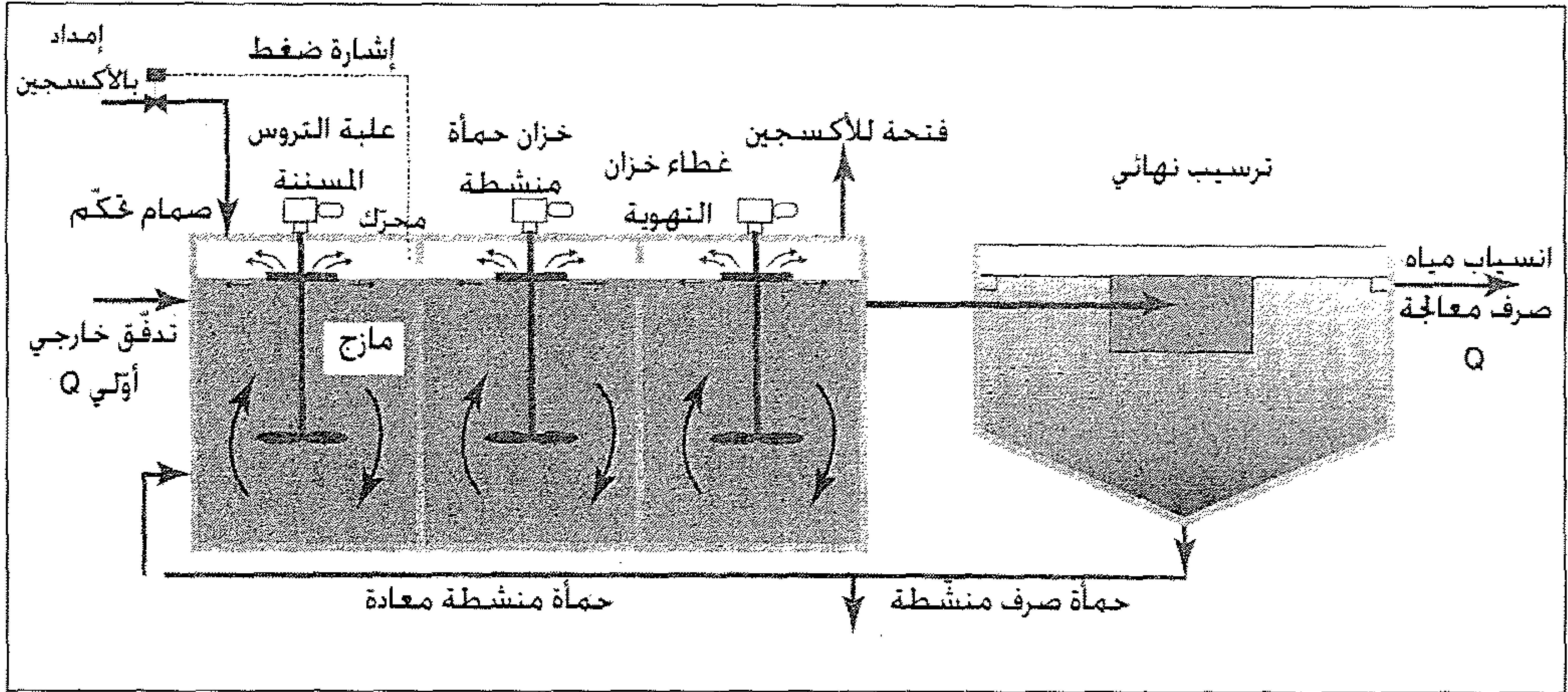
معدل إعادة الحمأة:

$$\frac{1.0}{2.14} \cdot 100 = 48\%$$

أكسجين عالي النقاء

يختلف نظام الأكسجين عالي النقاء عن التهوية باستخدام إمداد غنيٍّ بالأكسجين، وبخاصة خزان التهوية ذي الحجرات. يتم توليد إمداد الأكسجين إما بتصنيع أكسجين سائل أو عبر إنتاج غاز أكسجين عالي النوعية بواسطة الفصل بالامتزاز من الهواء. تُستخدم في الإنشاءات الكبرى طريقة معيارية لفصل الهواء بدرجات حرارة منخفضة تتضمَّن إسالة الهواء يليها تقطير مجزأ وذلك لفصل المكوّنين الأساسيّين، النتروجين والأكسجين. وفي غالبية محطات المعالجة، يكون نظام امتزاز بسيط اعتماداً على تأرجح الضغط. أكثر فاعلية. بحيث يتم ضغط الهواء في وعاء مملوء بمادة ممتزة حُبيبية تمتص تحت ضغط عال، ثاني أكسيد الكربون، والماء، والنتروجين، تاركةً غازاً غنياً نسبياً بالأكسجين. يتم تجديد المُمتز بإزالة الضغط والتنظيف. وتُركَّب ثلاثة أوعية لتأمين انسياب مستمر بالأكسجين عالي النقاء، بحيث تتبادل وحدتان منهما التشغيل والتجديد، بينما تكون الوحدة الثالثة وحدةً بديلةً أو داعمة.

يقسم حوض التهوية إلى مرحلتين بواسطة مصدّات، ويُغطّى بأغطية مانعة لتسرُّب الغاز، وبالتالي ينساب الطوران السائل والغازيّ، سويّةً عبر مقطعي المرحلتين (شكل 11-32). ويتم إدخال كل من مياه الصرف الخام، والحمأة المنشطة العائدة، وغاز الأكسجين إلى المرحلة الأولى تحت ضغط خفيف. وقد يُمزج الأكسجين مع محتويات الخزان عبر إعادة التدوير من خلال عمود مجوّف إلى مرطب بالترذيذ يدور كما هو موضّح في الشكل 11-32، أو قد يُركب مُهوّي سطحيّ على قمة عمود نفث المزج لتأمين تماس غاز الأكسجين مع المحلول الممزوج.



شكل 11-32 : مقطع تخطيط لنظام تهوية بأكسجين عالي النقاء

يتم وصل حجرات تهوية متتابعة مع بعضها بعضاً بحيث ينساب السائل عبر البوابات المغمورة وتنساب الغازات المعاكسة بالاتجاه بحريّة من مرحلة إلى مرحلة بانخفاض طفيف في الضغط. وغاز الصرف المستنفذ مزيج من ثاني أكسيد الكربون، والنتروجين و10% إلى 20% من الأكسجين المستعمل. يتم ترسيب المحلول الممزوج في التدفق الخارج في مروّق سريع للحمأة المعادة، ويُعاد تدوير الحمأة المنشطة إلى خزان التهوية.

ويرجع عدد من المزايا إلى التهوية بالأكسجين عالي النقاء، مقارنةً بأنظمة الهواء. وكما هو مبين في الشكل 11-4، فإنه يمكن تحقيق كفاءة عالية لدى حمولات BOD متزايدة وفترات تهوية مختزلة. وطرح حمأة الصرف أسهل بسبب المحتوى العالي من المواد الصلبة وتدني كميتها الناتجة، إذ إن الحمأة المترسبة تحتوي عموماً على 1% إلى 2% من المواد الصلبة. والتحكّم الفعّال بالرائحة الكريهة أسهل تحقيقاً عبر التهوية بالأكسجين، وباستعمال خزّانات مُغطّاة، والحجم المختزل للغازات المستنفدة.

مثال 11-7

تجري دراسة نظام تهوية بأكسجين عالي النقاء لمعالجة مياه صرف محلية ومياه صرف صناعي مشتركة كما هو مبين في الشكل 11-32. ولكون مياه الصرف المشتركة ذات محتوىً عالٍ من الــ BOD المُذاب ومحتوى متدنٍ من المواد الصلبة المعلّقة، فإن مخطط المعالجة لا يتضمن ترويقاً أولياً. يبلغ انسياب التصميم $3000\ m^3/d$ في اليوم

بمتوسط محتوى من الــ BOD يبلغ 300 mg/l. ومن الخبرة السابقة في المعالجة الهوائية لمياه صرف مشابهة، فإن نسبة F/M التصميم تساوي 0.60 g/d من الــ BOD لكل غرام (MLSS)، وتبلغ قيمة (MLSS) التشغيل 4000 mg/l. وتبلغ حمولة الــ BOD الحجمية القصوى $kg/m^3$1 ، وفترة التهوية الدنيا 2 hr، والعمر الأدنى للحمأة الموصى به هو 3.0 d . حَدِّد حجم خزان التهوية بناءً على هذه القرائن.

الحل

يعطي إعادة ترتيب المعادلة 11-13:

$$V = \frac{Q \,.\, BOD}{F/M \,.\, MLSS} = \frac{3000\ m^3/d \,.\, 300\ mg/l}{0.6\ g/d \,.\, g \,.\, 4000\ mg/l} = 375\ m^3$$

حمولة الــ BOD:

$$\frac{3000\ m^3/d \,.\, 300\ g/m^3}{375\ m^3 \,.\, 1000\ kg/g} = 2.4\ kg/m^3 \cdot d$$ (مقبول)

فترة التهوية:

$$\frac{375\ m^3 \,.\, 24\ h/d}{3000\ m^3/d} = 2.4\ kg/m^3 \cdot d$$

$$= 3.0\ h > 2.0\ h$$ (مقبول)

وبافتراض وجود فائض إنتاج SS قدره 0.4 غ (MLSS) لكل غ BOD مستعمل فإنّ

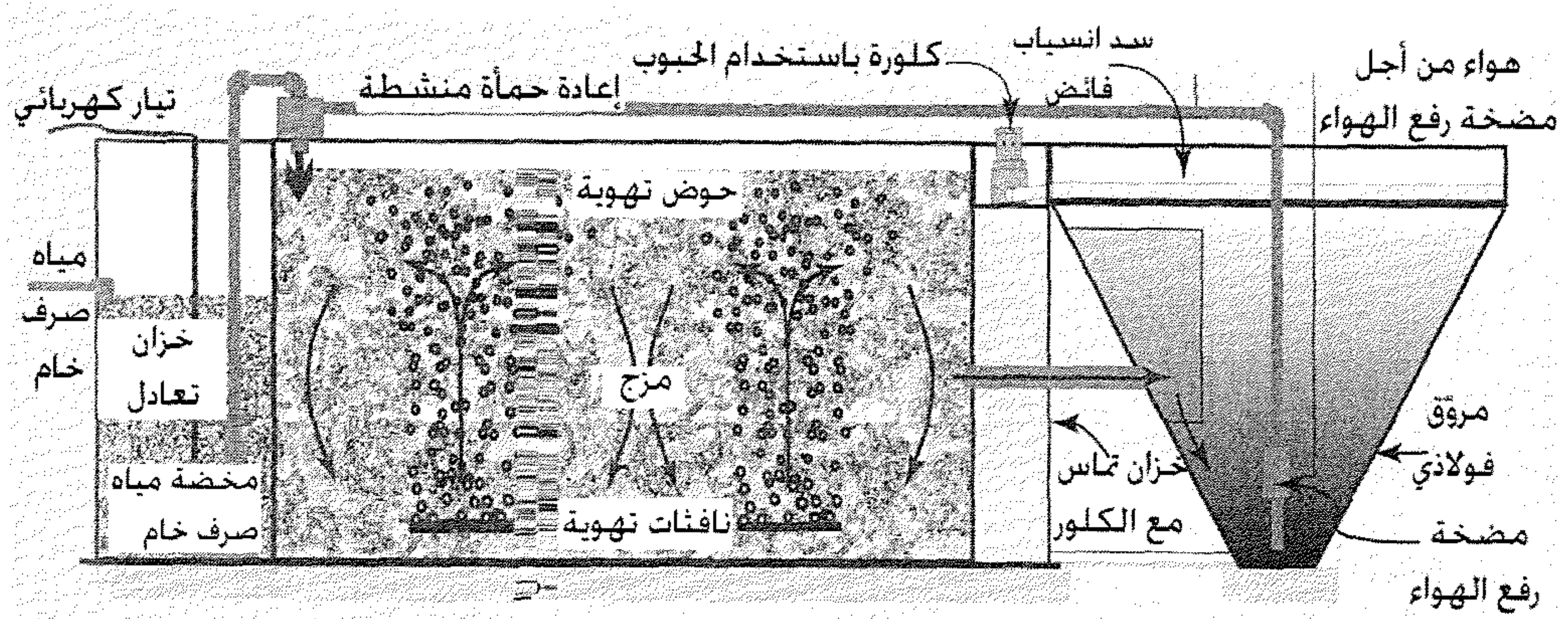
عمر الحمأة المقدّر:

$$\frac{375\ m^3 \,.\, 4000\ g/m^3}{0.4 \,.\, 3000\ m^3 \,.\, 4000\ g/m^3} = 4.2\ d > 3\ d$$ (مقبول)

تهوية موسعة

إن التطبيق الأكثر شيوعاً في هذه العملية هو معالجة انسيابات صغيرة قادمة من المدارس ومقاسم الأرض الصغيرة، ومواقف المقطورات، والقرى. يظهر الشكل 11-33 مخطط مقطع عرضي لتصميم عام. يمكن لأحواض التهوية أن تكون

خزّانات من البيتون تم صبها في الموقع أو خزّانات من الفولاذ مركّبة في المصانع. ويتم المزج باستمرار إما بواسطة هواء موزّع أو بواسطة مهوّيات ميكانيكية، وتمتد فترات التهوية ما بين 24 إلى 36 سا. ونتيجة لهذه الظروف، ولحمولة الـ BOD المنخفضة، فإن العملية الحيوية ثابتة للغاية ويمكنها أن تقبل حمولات متقطعة دون حدوث أيّ اضطراب. فمثلاً يمكن لوحدة مدرسة ما إن تتلقى مياه صرف خلال فترة عشر ساعات كل يوم فقط لخمس أيام في الأسبوع.



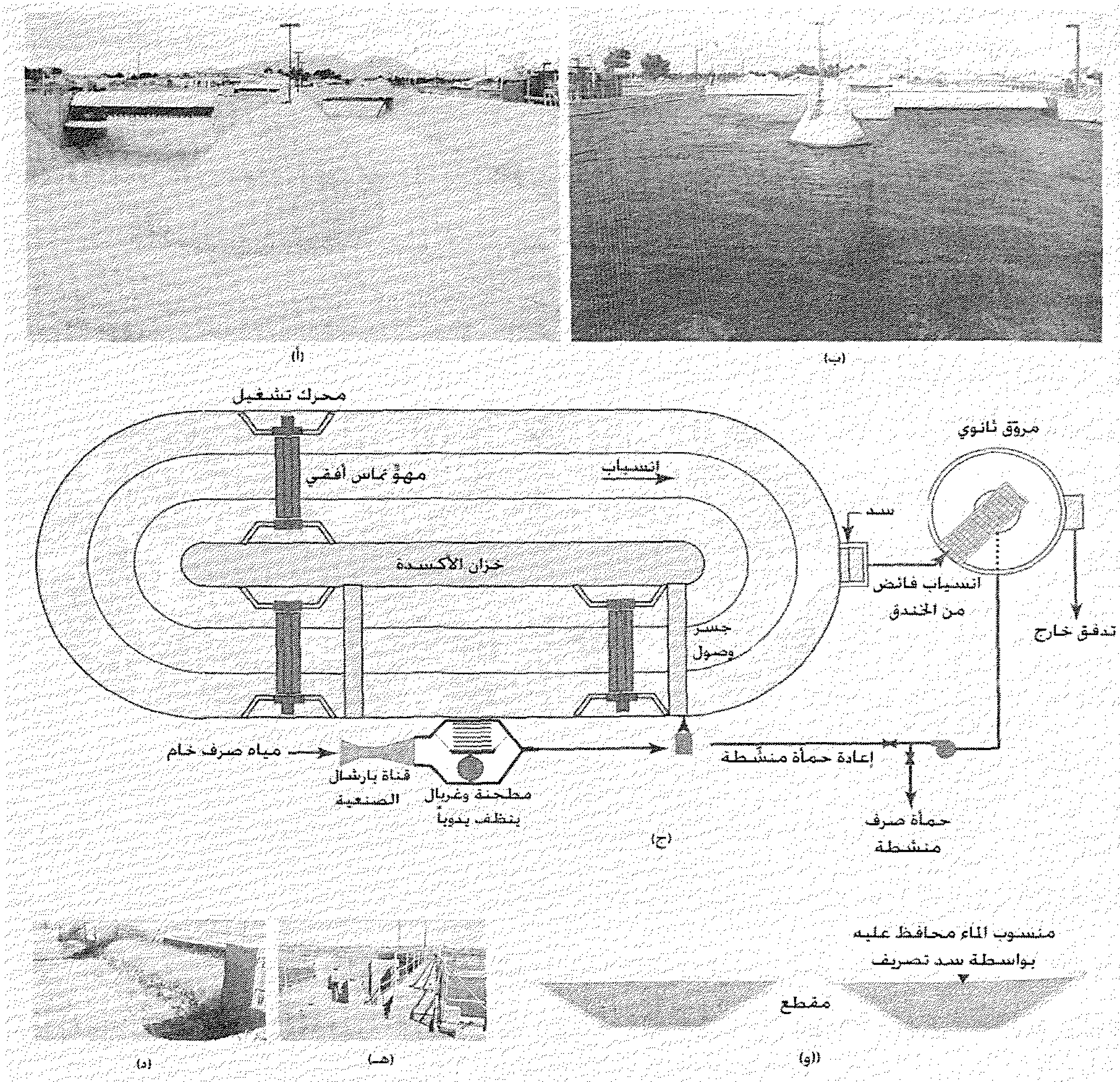
شكل 11-33: مخطط مقطع عرضي يبين تشغيل محطة تهوية موسّعة صغيرة نموذجية ذات تهوية منتشرة ومضخة رفع هواء لإعادة المواد الصلبة المترسبة والزبد إلى خزّان التهوية. تبنى وحدات معادلة مياه الصرف الخام وكلورة التدفق الداخل في البنية نفسها أسوة بخزان التهوية

يحدّد حجم المروّقات من قبيل الاحتياط ضمن المعدلات الدنيا لانسياب الفائض التي تتراوح بين 220 - 600 gpd/sq ft (24–18 m^3/m^2 .d) وبأزمنة احتفاظ طويلة. تعاد الحمأة إلى حجرة التهوية بواسطة مضخة رفع هواء وبتحكم إيجابي بالعمليات (شكل 11-33). تُعاد الحمأة الطافية على سطح حجرة الترسيب إلى خزّان التهوية بواسطة أداة إزالة الزبد ملحقة بالعائد من مضخة رفع الهواء. لا تُتخذ عادةً تدابير احتياطية لصرف الحمأة المنشطة من محطات تهوية موسّعة صغيرة. وبدلاً من ذلك، يُسمح بزيادة تراكيز المواد الصلبة في المحلول الممزوج لمدة بضع أسابيع ثم تُزال مباشرة من حوض التهوية. ويتم ذلك للسماح للمواد

الصلبة بالترسب في الخزّان مع إيقاف تشغيل المهويّات ومن ثم ضخ الحمأة المركزة من القاع إلى المركّبات التي تنقلها للطرح بعيداً. يتراوح مجال تشغيل MLSS ما بين حد أدنى قدره 1000 mg/l إلى نحو 10000 mg/l. وبمعالجة مياه صرف محلية تحت حمولة عادية، يزداد تركيز المواد الصلبة المحلول الممزوج بمعدل 30 mg/l إلى 50 في اليوم تقريباً.

تستخدم محطات تهوية موسّعة مكوّنة من خزّان تهوية، ومروّق، وهاضم هوائي للحمأة، من قبل بلديات مدن صغيرة. ويمكن أن تكون وحدة التهوية خزاناً من البيتون مزوّداً بتهوية منتشرة، أو خزاناً أرضياً مبطّناً مزوّداً بمهوّيات ميكانيكية، أو قناةً مع تهوية دوّارة أفقية. أما المروّقات النهائية فتكون عادةً خزّانات بيتونية دائرية منفصلة ذات جامعات ميكانيكية للحمأة. تُستخدم خزّانات احتفاظ مهوّاة لهضم وتخزين حمأة الصرف المنشطة قبل التخلّص منها. وخندق الأكسدة المبين في الشكل 11-34 شائع الاستخدام لكفاءته العالية ولسهولة تشغيله. ويكون حوض التهوية عادةً بيضوياً بحيث يتراوح عمق المحلول فيه من 4 إلى 16 قدم. وتبعاً لحجم المحطة، تكون الجدران الخارجية للقناة منحدرة أو شاقوليّة، بينما تكون الجدران الوسيطة إما قطاعاً عريضاً ذا جدران منحدرة أو جداراً منصّفاً ذا مصدّات موجهة للانسياب.

يقوم المهوّي الدوّار بأكسجة المحلول الممزوج في أثناء دفعه بمروحة إلى الأمام بحركة دورانية. إن المهوّي الظاهر في الشكل 11-34 عبارة عن عنفة دوّارة عالية الاستطاعة قطرها .in 42 ذات شفرات مركبّة على عمود مرفق قطره .in 14. وفي معظم الأحوال، تكون حمولة الـــ BOD على أنظمة التهوية الموسّعة الكبيرة أقل من(20 lb/1000 cu ft/day (320 g/m^3 . d، وتكون فترة التهوية أكثر من 12 ساعة.



شكل 11-34: عملية تهوية موسَّعة تَستخدم مهوٍّ ميكانيكي أفقي مركّب فوق قناة تهوية. (أ) صورة لخندق أكسدة فارغ. (ب) صورة للحوض نفسه قيد التشغيل في مرفق BOMO لاستصلاح الماء في لاس فيغاس، نيفادا، (ج) منظر لمخطط يظهر العمليات المرافقة بما فيها الأعمال عند مقدمة المرفق (قياس الانسياب، والغربلة)، المروّق النهائي، وإعادة الحمأة. (د) صورة لمهوٍّ تماسي قيد التشغيل. (هـ) صورة مشغل المحرّك وممر الوصول. (و) مقطع عبر خنادق الأكسدة يظهر الجدران الجانبية المنحدرة. تُفضَّل الجدران الشاقوليّة لسهولة إشادتها

مثال 11-8

حُمِّلت محطة تهوية موسَّعة صغيرة غير مزوَّدة بمرافق لصرف الحمأة، تحت معدل من الـــ BOD قدره 10.5 lb/1000 cu ft/day لفترة تهوية قدرها 24 hr. يبلغ معدل تراكم المواد الصلبة المعلَّقة المُقاسة في خزان التهوية 40 mg/l/day. كم تبلغ

النسبة المئوية لـــ BOD في التدفق الداخل الخام الذي يتحوّل إلى MLSS ويبقى كذلك؟ إذا سُمح لتركيز MLSS بالازدياد من 2000 mg/l إلى 6000 mg/l قبل صرف المواد الصلبة، كم يستغرق حدوث هذا التراكم؟

الحل

نظراً إلى أن فترة التهوية تبلغ 24 hr

حجم الخزان باللتر/ حمولة الـــ BOD باليوم:

$$\frac{\text{BOD حمولة/day}}{\text{لترات من الخزان}} = 10.5\ \frac{\text{lb BOD /day}}{\text{1000 cu ft}} \cdot \frac{\text{mg/l}}{\text{62.4 lb / 1,000,000 cu ft}}$$

$$= 168 \text{ mg/l}$$

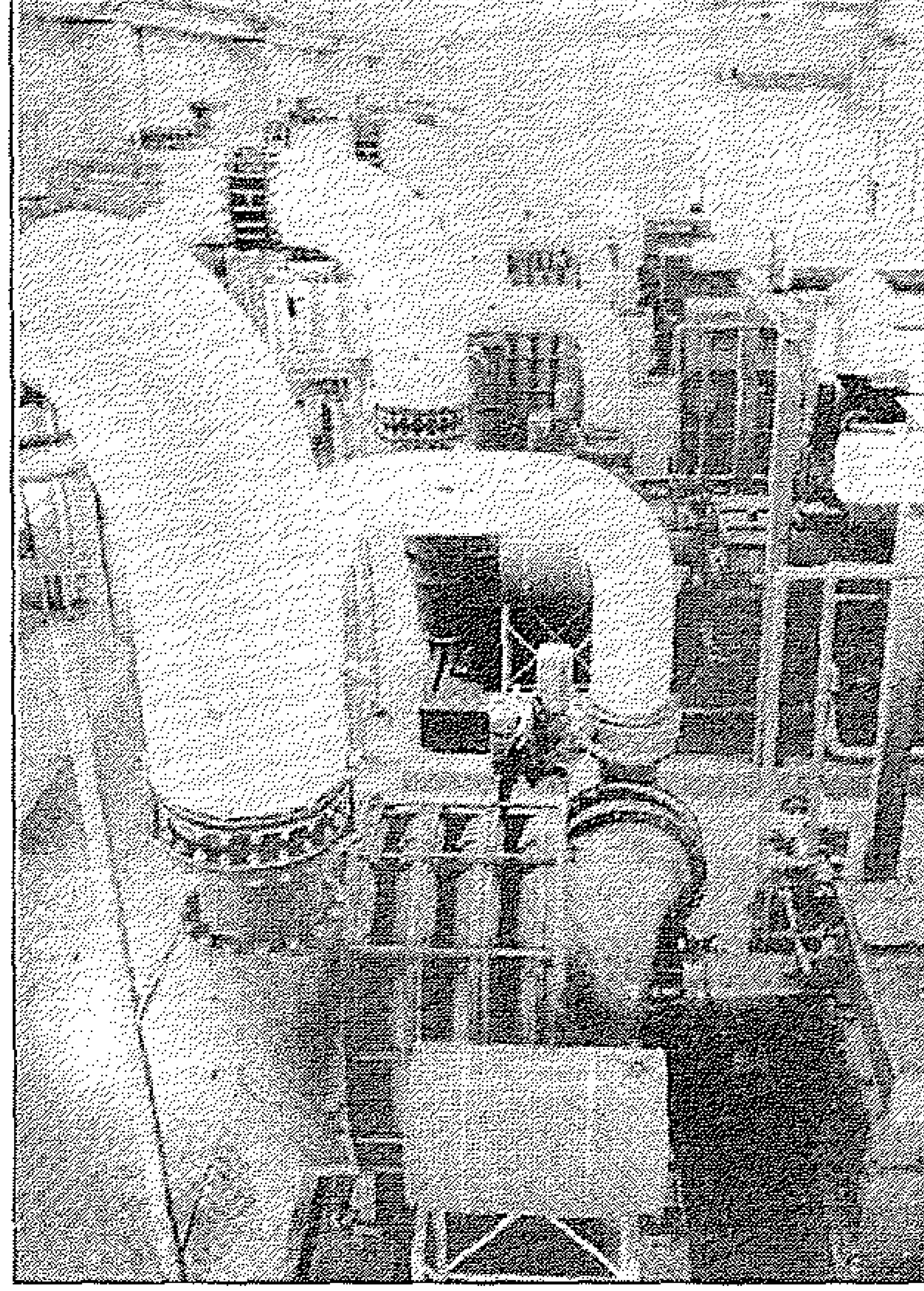
$$\frac{\text{المتراكم } MLSS}{\text{المستعمل } BOD} = \frac{40 \text{ mg/l/d}}{168 \text{ mg/l/d}} \cdot 100 = 24\%$$

زمن التراكم:

$$\frac{6000 \text{ mg/l} - 2000 \text{ mg/l}}{40 \text{ mg/l/d}} = 100 \text{ days}$$

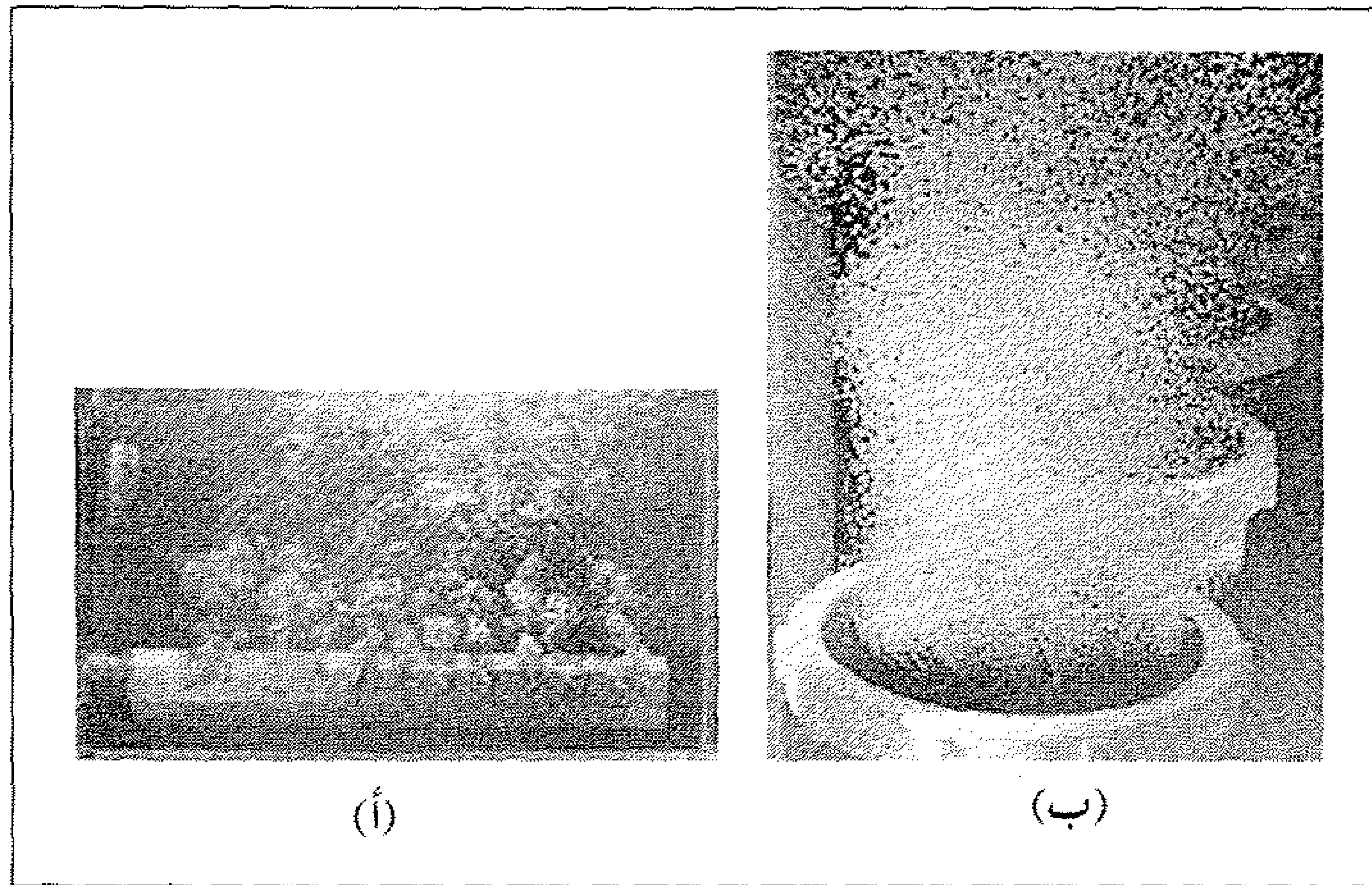
التهوية ونقل الأكسجين

يتم إمداد المحلول الممزوج بالأكسجين في خزان التهوية عبر نثر الفقاعات من نافثات مغمورة وذلك بسحب الهواء إلى المحلول بوسائط ميكانيكية. ونافثات الهواء تكون صفائح، وأنابيب، وبزابيز مسامية ملحقةً إما بشبكة أنابيب الهواء الممدّدة على قاع الخزان، أو بحامل أنابيب يمكن سحبه من الخزان. تزود نافخات نابذة، كتلك المبينة في الشكل 11-35، النافثات بهواء مضغوط. ومعدات توليد الفقاعات الكبيرة عبارة عن ثقوب أو بزابيز مُصمّمة بحيث يتجزأ الهواء المحرَّر على شكل فقاعات تنتشر في المحلول المحيط (انظر الشكل 11-36 أ).



شكل 11-35 : صورة لنافخات نابذة تزود أنظمة التهوية المنتشرة بالهواء. تُدار النافخات بمحركات كهربائية أو بمحركات تعمل على الغاز الطبيعي أو بالغاز الفائض عن الهاضمات

أما معدّات توليد الفقاعات الصغيرة فهي عبارة عن مواد تحرِّر الهواء على شكل فقاعات صغيرة، كما هو مبين بالشكل (11-36 ب). وبالرغم من أن كل نوع من النافثات يتمتع بسمات فردية، إلا أن بزابيز الفقاعات الكبيرة تتميّز بعدم حاجة تشغيلها لصيانة، بينما تتميز نافثات الفقاعات الصغيرة بكفاءة عالية لنقل الأكسجين. والمهويّات الميكانيكية تكون إما مجاديف أفقية، أو توربيناً شاقولياً، أو أنبوب سحب لتوربين شاقولي. تدور العنفة الدوارة المغمورة جزئياً في قناة تهوية. وقد يكون التوربين الشاقولي وحدةً سطحيّةً أو وحدةً مغمورةً كلياً تُزوَّد بالهواء المضغوط من تحت الشفرة الدوارة. ولتحقيق مزج عميق، يمكن وضع التوربين الشاقولي في أنبوب سحب بحيث يتم سحب المحلول من قاع الخزان عبر الأنبوب ليفرَّغ عند السطح.



شكل 11-36: صور تحت الماء لأنظمة نافثات التهوية، (أ) نافثات فقاعات كبيرة، (ب) نافثات فقاعات صغيرة (موافقة Sanitaire Water Pollution Control Corp.)

إن نقل الأكسجين عملية ثنائية الطور، كما هو مبين في الشكل 11-37. في الطور الأول يذوب الأكسجين الغازي في مياه الصرف إما بالانتشار أو بتهوية ميكانيكية. وفي الطور الثاني تستهلك العضويات المجهرية الأكسجين المُذاب في تأبيض المادة العضوية في مياه الصرف. فإن تجاوَزَ معدل استهلاك الأكسجين معدل الذوبان فإن الأكسجين المُذاب في المحلول الممزوج سيُستنزَف. ويجب أن يزوّد الاحتياج للأكسجين في عمليات التهوية، احتياجَ كلٍّ من الـ BOD والأمونيا للأكسجين. يقدَّر احتياج الـ BOD بالفرق ما بين كمية الـ BOD الداخلة إلى حوض التهوية مطروحاً منه كمية الـ BOD في التدفق الخارج من المحطة وكمية الـ BOD في مواد الصرف الصلبة، مضافاً إليه أيّ احتياج للأمونيا من الأكسجين، وذلك وفقاً لما تظهره المعادلة الآتية:

احتياج O_2:

$$Q(BODi - BODe)\cdot 8.34 - (\text{TSS في الصرف})(1.4)$$
$$+ (\text{BOD في التدوير والانسيابات العائدة}) +$$
$$+ 4.6\, Q\, (NO_3)\, .\, 8.34 \qquad \textbf{(16-11)}$$

حيث Q_2 = احتياج الأكسجين الكربوني lb/day

Q = انسياب مياه الصرف إلى التهوية (من دون إعادة تدوير)، mgd.

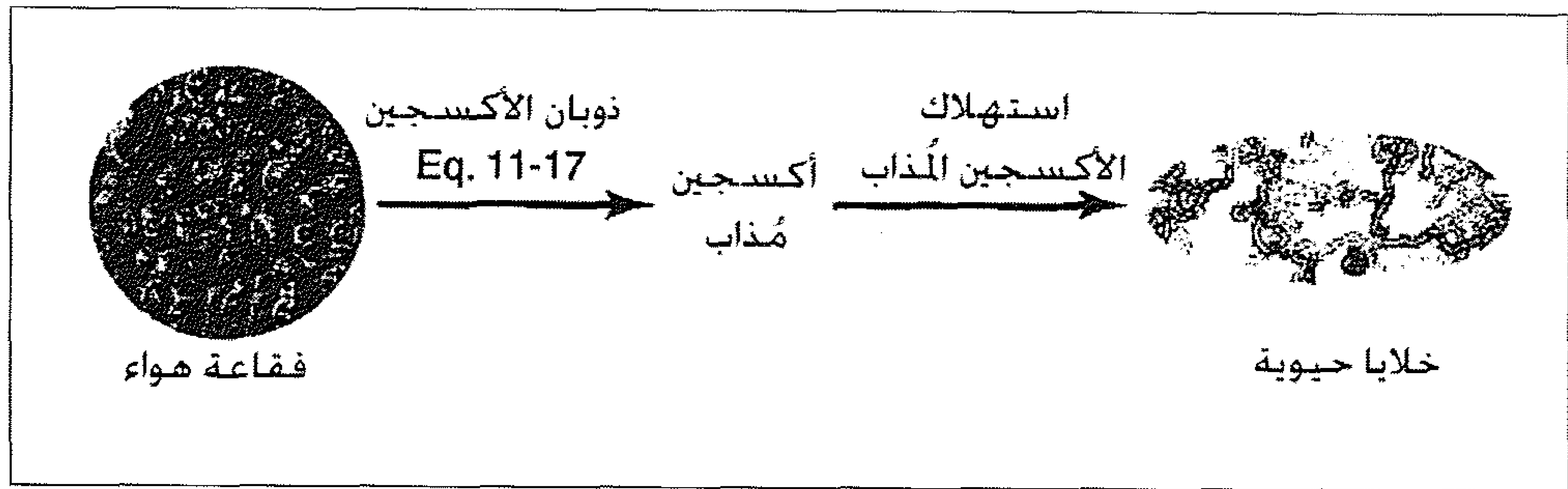
Q = انسياب مياه الصرف إلى التهوية (من دون إعادة تدوير)، mgd.

BODi ، BODe = كميّة الـــ BOD في التدفق الداخل إلى التهوية، كميّة الـــ BOD في التدفق الخارج من المروّق الثانوي، mg/l

TSS في الصرف = من المروّق الثانوي، 1.4 lb BOD/lb TSS، lbs/day

إن الـــ BOD في الانسيابات معادة التدوير والانسيابات العائدة متفردان في كل مرفق. وبتقدير أولي، يعتبر الـــ BOD في TSS في الصرف، والـــ BOD في الانسياب العائد متساويين ويلغيان بعضهما بعضاً.

NO_3 = الأمونيا المتحوّلة إلى نترات 4.6 lb BOD/lb NO_3، mg/l



شكل 11-37: نقل ثنائي الطور للأكسجين في تهوية حمأة منشطة. يتحوّل أولاً الأكسجين الغازي إلى أكسجين مُذاب ثم يستهلك من قبل الكدرة الحيويّة

واستيفاءً لاحتياج الأكسجين، ينبغي أن تقدّم معدات التهوية أكسجيناً كافياً للاحتياجات العادية ولاحتياجات الذروة. وينبغي لمعدّات التهوية أن تلبّي احتياجات الذروة، بما فيها احتياجات الذروة الفصليّة والذروة اليومية. ويستخدم كثير من المهندسين عامل ذروة قدره 2.0 ليغطي التغيّرات في الـــ BOD وفي الانسياب، ولكن يفضّل إلقاء نظرة عامة على القيم الفعليّة للذرى.

يقدّم مصنعو أدوات التهوية الميكانيكية نشرات بقيم نقل الأكسجين متعلّقة بمعداتهم، وهي تمثّل معدل نقله في المياه النقية لدى درجة حرارة وضغط معياريين. وتستند الاستطاعة إلى الاختبارات المُنجزة وفقاً لنقل الأكسجين في الماء

النقي. يظهر الجدول 11-5 معدلات نقل المياه النقية باستخدام أنماط متعدّدة من المهوّيات. لا تأخذ هذه المعدلات بالاعتبار خصائص مياه الصرف، تركيز الأكسجين المتبقي، والضغط المتزايد عند العمق الذي يتحرر فيه الأكسجين. وتمثّل المعادلة الآتية المعدل الفعليّ لنقل الأكسجين في مياه الصرف:

$$OTR = SOTR\ \alpha f \cdot \theta^{T-20} \cdot \left(\frac{\beta C_S - C_t}{C_\infty} \right) \qquad \textbf{(17-11)}$$

حيث:

OTR = احتياج O_2 مصحح من أجل مياه الصرف، lb/hr أو lb/hp-hr, kg/kWh.

SOTR = احتياج O_2 لمياه نظيفة لدى درجة حرارة وضغط معياريين، lb/hrأو lb/hp-hr, kg/kWh.

αf = نسبة مياه الصرف إلى معدل نقل المياه النظيفة، بلا وحدة. يتحدَّد هذا العامل بتقسيم قيمة معدل النقل التي تم التوصل إليها من اختبارات نافث محدّد في ظروف حقلية على معدل النقل في المياه النظيفة، لذا فهو يتضمن تأثيرات مياه الصرف وتلوّث المهوّي. تتباين قيمة ألفا بشكل كبير تبعاً لزمن احتفاظ المواد الصلبة، ولتركيز MLSS، وخصائص مياه الصرف. تتراوح قيم ألفا المنخفضة ما بين 0.3 إلى 0.4 في محطات الحمأة المنشطة التي لا تجري عملية نترتة، أما أنظمة النترتة الكلية فذات قيم أعلى تتراوح ما بين 0.45 إلى 0.75. تتراوح قيم عامل تلوّث الغشاء ما بين 0.7 إلى 0.9. وفي غياب الاختبار الحقلي، تتراوح قيم αf النموذجية ما بين 0.5 إلى 0.6 في أنظمة الفقاعات الصغيرة وما بين 0.7 إلى 0.8 في خزّانات التهوية ذات الفقاعات الكبيرة[1].

θ = تصحيح للحرارة بلا واحدة = 1.024

T = درجة حرارة مياه الصرف، C°

β = معدل التشبع، بلا واحدة = C مياه نظيفة/C مياه المعالجة، المجال ما بين 0.9 إلى 0.95.

Cs = إشباع الأكسجين المُذاب، mg/l، التركيز لدى درجة حرارة وضغط قياسيين. تُضرب Cs بـــ (الضغط البارومتري لدى سطح البحر/الضغط البارومتري في موقع العمل) لتعديل الارتفاع.

Ct = الأكسجين المُذاب، mg/l، تركيز متبقي في الحوض.

C∞ = تركيز الأكسجين المُذاب، mg/l، مُصحح لضغط النافث في الحوض

C∞ = Cs (1- 0.325 . عمق النافث/Dc) **(18-11)**

حيث Cs وC∞ حددتا في ما سبق

إذا كان عمق النافث بالأمتار Dc = 10.34 ,إذا كان عمق النافث Dc = 34 بالقدم

يمكن حساب الطاقة المطلوبة للإيفاء باحتياج الأكسجين كالآتي:

$$hp = \frac{O2 \text{ احتياج } (lb/day)}{O2 \text{ إمداد } (lb/hp.\ hr) \cdot 24}$$

$$kWh = \frac{O2 \text{ احتياج } (lb/day)}{O2 \text{ إمداد } (lb/kWh.\ hr) \cdot 24}$$ **(19-11)**

يمكن حساب إمداد الهواء المطلوب لأنظمة التهوية المنتشرة كالآتي:

$$Q_{air} = \frac{Q_{O_2}}{OTE \cdot \rho_{air} f_{O_2} \cdot 24 \cdot 60}$$

$$= \frac{Q_{O_2}}{OTE \cdot 0.0174 \cdot 1400}$$ **(20-11)**

حيث:

Q_{air} = معدل انسياب الهواء، cu ft /min

Q_{O2} = معدل نقل الأكسجين، lb/day

OTE = كفاءة نقل الأكسجين المدرجة في الجدول 11-5، نسبة مئوية

Q_{air} = lb/cu ft، كثافة الهواء = 0.075

f_{O2} = نسبة الأكسجين بالهواء = 0.232

جدول 11-5: معدلات نموذجية لنقل الأكسجين بالمياه النظيفة لمعدات تهوية ميكانيكية نموذجية

نمط المهوّي الميكانيكي	مرجع الشكل	كفاءة نقل الأكسجين %	SOTR (O_2 lb/hp-hr)	SOTR (O_2 kg/kWh)[a]
غشاء فقاعات صغيرة	11-33 ب	39-20	7.7-4.0	4.7-2.4
نافثات (تغطية كامل	11-33 أ	15-10	2.9-2.0	1.8-1.2
نافثات فقاعات كبيرة[b]	19-13	27-22	5.0-4.0	3.1-2.4
مهوّيات نفاثة[b]	29-11	18-10	3.5-2.0	2.1-1.2
مهوّيات طافية	11-40 ج	18-10	3.6-2.0	2.2-1.2
مهوّيات دوّارة تماسية	11-31 د	18-10	3.5-2.0	2.1-1.2

[a] 1.0 lb/hp-hr = 0.61 kg/kWh.

[b] كفاءة نقل الأكسجين لدى غمر بمقدار 15 .in، القيم النموذجية هي: فقاعات صغيرة =2.0%، فقاعات كبيرة = 0.75%، مهوّيات نفاثة = 1.6% لكل .in غمر.

يعتمد عدد وحدات التهوية على طاقة انسياب الهواء والقوة الحصانية، وهي قيمة يتفرد بها كل مصنّع. ونظراً إلى أن النشاط الحيوي يكون كبيراً فقط لدى السويات المنخفضة، ولكون معدل النقل من الهواء إلى الأكسجين المُذاب يزداد مع تناقص التركيز، لذا فمن المنطقي أن يُشغّل النظام بأقرب ما يمكن إلى الحد الأدنى الحرج المُمكن لتركيز الأكسجين المُذاب. إن تشغيل ضاغضات الهواء بطاقاتٍ منخفضة، بل حتى أن إيقاف تشغيل أحد النافخات في نهايات الأسبوع قد يكون اقتصادياً لتوفير بعض الطاقة الكهربائية لا يتسبب بأيّ تأثيراتٍ عكسيّةٍ في العمليّة الحيوية. لقد تزايد استخدام التحكّم الأوتوماتيكي بالنافخات باستخدام سابرات الأكسجين المُذاب، مع ازدياد التحسينات في أنظمة التحكّم ووثوقية قائس الأكسجين المُذاب.

مثال 9-11

تستخدم مهوّيات استطاعة كل منها 25hp لتخفيف الـــ BOD في الخلية الأولى لنظام بركة ذات معدل عال. يبلغ الانسياب 0.5 mgd بمحتوى BOD في التدفق الداخل قدره 180 mg/l ومحتوى BOD في التدفق الخارج قدره 50 mg/l، وليس هناك أيّ انسياب إعادة دوران أو إزالة حمأة. لا تقوم الخلية بعملية نترتة، كما إن هناك DO متبقي قدره 5 mg/l. ويبلغ متوسط درجة الحرارة 15°C. احسب احتياج الأكسجين، والقوة الحصانية الكليّة للمحرك، وعدد المهوّيات.

α= 0.3

β= 0.9

F= لا وجود لتلوّث

الحل

$C_\infty = C_s$ 10.2 mg/l انظر الجدول 5-2

تقدم المهوّيات الطافية 2.8 lb O_2/hp-hr (انظر الجدول 11−5)

احتياج O_2: Q (BOD_{in} - BOD_e) 8.34

احتياج O_2: 0.5 (180 - 50) 8.34 = 540 lb/day

لدى عامل تصاعد قدره 2.0 = 1080 lb/day

$$OTR = 2.8 \cdot 0.3 \cdot 1 \cdot (1.024)^{15-20} \cdot \left(\frac{0.9 \cdot 10.2 - 2}{10.2}\right)$$

$$= 2.8 \cdot 0.135 = 0.375 \text{ lb } O_2/\text{hp-hr}$$

$$hp = \frac{O_2 \text{ احتياج (lb/day)}}{O_2 \text{ نقل (lb/hp-hr)} \cdot 24}$$

$$hp = \frac{1080}{0.135 \cdot 24} = 121 \text{ hp}$$

أو خمس مهوّيات استطاعة كلّ منها 25 hp.

مثال 10-11

يستخدم نظام تهوية بفقاعات صغيرة لإزالة الـــ BOD ولنترتة كليّة لمياه الصرف. تبلغ درجة حرارة مياه الصرف $18^{\circ}C$ وعمق النافث 18 in.، وتركيز الكلور < 2000 mg/l، كما إن هناك أكسجين مُذاب متبقي قدره 2.0 mg/l. كم يبلغ احتياج الأكسجين، ومتطلب القوة الحصانية الكليّة، ومتطلب انسياب الهواء وذلك باستخدام انسياب تدفّق داخل قدره 3.5 mg/l، علماً أن تركيز BOD في التدفق الداخل الرئيس 140 mg/l، وفي التدفق الخارج من المحطة 23 mg/l، وتركيز الأمونيا 23 mg/l.

α= 0.65

β= 0.95

F= 0.75

الحل

$C_s = 9.5$ mg/l انظر الجدول (5-2)

$C_\infty = C_s (1 - 0.325 \,.$ عمق المهوّي $/D_c)$

$C_\infty = 9.5 (1 - 0.325 \,.\, 18/34) = 9.5 \,.\, 83$
$= 7.9$ mg/l

احتياج O_2

$= Q (BOD_{in} - BOD_e)\, 8.34 + 4.6 \cdot Q \,.\, NH_3 \cdot 8.34$
$= 3.5 (140 - 15)\, 8.34 + 4.6 \cdot 3.5 \cdot 23 \cdot 8.34 = 6740$ lb/day
أو 13500 lb/day لدى عامل تصاعد قدره 2.0

$$OTR = STOR \cdot 0.65 \cdot 0.75 \cdot 1 \cdot (1.024)^{18-20} \cdot \left(\frac{0.95 \,.\, 9.5 - 2}{7.9}\right)$$

$= STOR/0.413$
$OTR = 13500$ lb/day$/0.413$

معدل نقل فقاعات الأكسجين الصغيرة = 8.3 O_2/hp-hr

$hp = 32700/8.3/24$

$$Q_{air} = \frac{Q_{O_2}}{OTE \,.\rho_{air} \,.f_{O2} \,.1440}$$

$$Q_{air} = \frac{13.500}{0.36 \,.\, 0.0174 \,.1440}$$

التصميم التجريبي للعمليات

تُصمّم عادةً أنظمة الحمأة المنشطة التي تتعامل مع مياه صرف المدن استناداً إلى الخبرة التشغيلية لمحطات قائمة تستخدم عمليات التهوية نفسها. ويأخذ المصمم في ذلك بالاعتبار خبرته بتأثير الظروف المحلية، مثل ارتشاح المجارير وتأثير مياه الصرف الصناعي. والظروف المناخية أيضاً، وبخاصة درجة حرارة مياه الصرف وتغيرات الانسياب الفصلية، والتأثير على اختيار متحوّلات الحمولة، إذ تُستخدم هذه المتحوّلات في تحديد أحجام خزّانات التهوية. فمثلاً لتحقيق تدفّق خارج ذي محتوى من الـ BOD يقل عن 30 mg/l في مناخٍ معتدل، فإن قيم التصميم النموذجية لتهوية ثانوية تقليدية لمياه صرف محلية بصورة أساسية هي حمولة BOD حجمية قدرها 40 lb/1000 cu ft/day ($640\ g/m^3 . d$) وفترة تهوية دنيا تبلغ 6 hr. واستناداً إلى القيم المحدّدة لخزّان التهوية، يمكن للعملية أن تُجرى لدى نسبة (F/M) قدرها 0.2 lb إلى 0.3 lb من BOD/lb/day MLSS، بوجود تركيز للمواد الصلبة المعلّقة في المحلول الممزوج قدره 2500 mg/l إلى 3000 mg/l تقريباً.

التشغيل والتحكّم

يتم تعديل عمليلات التهوية عبر كمية الهواء الذي يتم التزويد به، وكمية الحمأة التي يتم طرحها، وهما بدورهما يتحكّمان بالـ (MLSS) وبنسبة (F/M) وبعمر الحمأة. ويعاني نظام مصمّم بشكل صحيح، يعالج مياه صرف محلية، مشاكل قليلة فقط إن كان النظام يعمل في وضع حالة استقرار. ويُقصد بذلك أن كمية مياه الصرف الواردة كل يوم هي نفسها تقريباً، وأن تركيز الأكسجين الممزوج والمُذاب بالتهوية ثابت نسبياً، وأن الحمأة يتم طرحها باستمرار بكميات ضورورية للإبقاء على نسبة (F/M) ملائمة. وقد تتطلّب هذه النسبة طرحاً مخفضاً للحمأة في نهايات الأسبوع عندما تكون الحمولة العضوية على المحطة، أقل.

وعندما تعمل المحطة إلى حد بعيد تحت قيم التصميم لحمولة الـ BOD، فيمكن للبكتيريا المُنترَتة أن تحوّل الأمونيا إلى نترات في حوض التهوية. وفي أثناء

الاحتفاظ في المروّق يمكن أن تُستخدم النترات كمصدر للأكسجين تحت ظروف لاهوائية، محرِّرةً غاز النتروجين الذي يقوم بتعويم الكدرة الحيوية للأعلى. والحل الأفضل هو زيادة طرح الحمأة للتخلص من الكائنات البكتيرية المُنترَتة ولتقليل الإمداد بالأكسجين بهدف إنقاص تركيز الأكسجين المُذاب، شريطة أن لا تؤدي إجراءات التحكّم هذه إلى تراجع كفاءة إزالة الـــ BOD الكربوني.

تتضمّن الفحوص المخبرية لمراقبة معالجة الحمأة المنشطة، فحص الأكسجين المُذاب، وتركيز (MLSS)، ومحتوى الـــ BOD والمواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج. ومن الضروري معرفة كمية التدفق الداخل ومحتوى الـــ BOD فيه، وذلك لحساب الحمولة العضوية، ونسبة (F/M)، وفترة التهوية. يقدّم تركيز المواد الصلبة في الحمأة المنشطة العائدة، ونوعية التدفق الخارج من المروّق، والسبر لتقدير عمق غطاء الحمأة في المروّق، معلومات عن المعدل المناسب لإعادة التدوير لكفاءة مثالية للعملية، ولتركيز أقصى للمواد الصلبة في حمأة الصرف المطروحة.

كثيراً ما تكون مياه الصرف الصناعية مصدراً لعدم استقرار تشغيل عمليات التهوية. ويمكن لحمولات صدمة أن تتسبّب باستنزاف الأكسجين وأن تُخل بتوازن النظام الحيوي. ويمكن لكميات كافية من النفايات السامّة أن تتدخل بالأيض المكروبي، كما يمكن للنفايات الغنية بالكربوهيدرات أن تتسبّب بعجز في المغذيات. ويتسبب كل ما سبق بنقص (MLSS) في الانسياب الفائض للمروّق، وبالتالي بتراجع كفاءة المعالجة وبإزاحة نسبة (F/M) نتيجة هذا الطّرح غير المتعمد للعضويات المجهرية.

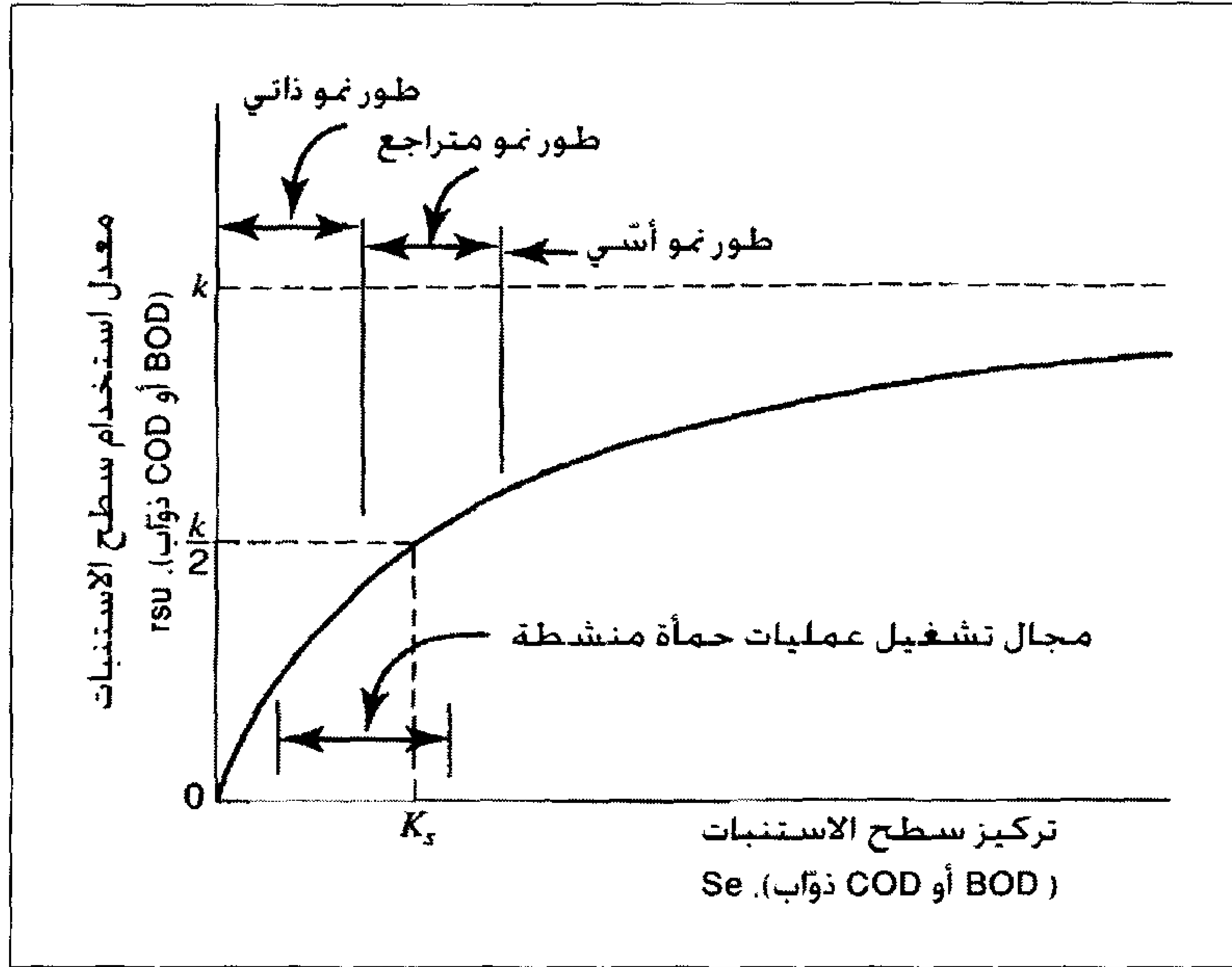
تناقش الفقرة 6-9 تقنيات تقييم إمكانية معالجة مياه الصرف. ويمكن لحمولات الصدمة الهيدروليكيّة، الناتجة من انسياب فائض للداخل، وارتشاح إلى نظام المجارير، أن تكون ذات ضرر مماثل لضرر الحمولة الزائدة من السموم والمواد العضوية. ويمكن لمعدلات عالية من الانسياب الفائض من المروّق، حتى وإن كانت لفترات قصيرة، أن تنقل جزءاً هاماً من الحمأة المنشطة قابلة للحياة ضرورياً للنظام.

وقد يتطلب الأمر بضعة أيام لإعادة بناء كثافة المحلول الممزوج وللعودة إلى نسبة (F/M) لتشغيلٍ صحيح. يتضمن تقدير سبب القابلية الضعيفة للترسب لحمأة منشّطة تحرّي العوامل الحيوية، والكيميائية، والفيزيائية. وبداية، ينبغي حساب متحوّلات التشغيل المتضمنة حمولات (F/M) وBOD الحجمية، وتركيز (MLSS)، وعمر الحمأة ومقارنتها مع القيم الموصى بها لعملية تهوية محدَّدة.

يمكن للفحص المجهري وللمراقبة البصرية لخصائص ترسيب (MLSS) أن يكشف وجودناميات خيطية وكدرات ضعيفة التكتل. ويستدل على النترتة - إزالة النترتة من حجم الحمأة في المروّق ومن اختبار المحلول الممزوج لتحديد تركيز النترات. والعوامل الكيميائية التي تتسبب بنمو حيويٍّ ضعيف، هي عدم كفاية الأكسجين المُذاب، ونقص المغذيات، ووجود مواد سامة، وتدني درجة الحرارة. ويمكن استخدام الفحوص المخبرية لإثبات كفاية الأكسجين المُذاب وتوفر مغذيات الفوسفور والنتروجين. ونظراً إلى كون تدني درجة الحرارة تخفّض معدل النشاط الحيوي، فإن لدرجات الحرارة المنخفضة تأثيراً مشابهاً لازدياد حمولة الـ BOD. وأخيراً، فإنه يجب أن تؤخذ بالاعتبارالخصائص الفيزيائية لنظام تهوية ومروّق. ويمكن للاستثارة الزائدة نتيجة لتدني الحمولة أو لمزج ميكانيكي عنيف ومفرط، أن تتسبب بتجزؤ الكدرة إلى أجزاء صغيرة ذات قابلية للترسيب متدنية. وقد يكون الأسباب في ترويق نهائيٍّ غير فعال، هي معدل غير مناسب لإعادة الحمأة، ومعدل انسياب فائض مفرط، واضطراب هيدروليكي، وانقطاع الانسياب، أو عيوب في آلية الجمع.

7-11 نموذج رياضي لتهوية ممزوجة كلياً

لقد طبِّقت مبادئ الحركية الحيوية كما حُدّدت من قبل مونود في نمو مجموعة من مستنبتات صافية (فقرة 3-12) في تطوير نموذج رياضي للتهوية الحيوية. والافتراضان الأساسيان في ذلك يتمثلان بأن التفاعلات الحركية للمستنبتات الصافية هي ذاتها للمستنبتات الممزوجة، وبأن النمو والأيض السطحي في مجموعة المستنبت تحاكي إزالة الـ BOD أو الـ COD في خزان تهوية ذي انسياب مستمرٍّ وممزوج كلياً.



شكل 11-38: معدل استخدام سطح الاستنبات مقابل تركيز سطح الاستنبات في خزان التهوية (المعادلة 11-31). إن الثابت k مساو لتركيز سطح الاستنبات S عندما يكون معدل استخدام سطح الاستنبات r_{su} مساوياً لنصف المعدل الأقصى k

يصف الشكل 11-38 العلاقة الرياضية الأساسية ما بين استخدام سطح الاستنبات وتركيز سطح الاستنبات في طور تراجع النمو كتابع قطعٍ زائد. وشكل هذا المنحني مطابق لمعادلة مونود المبينة في الشكل 3-26.

ولقابلية ترسيب جيدة للحمأة المنشطة، تجري عمليات التهوية بتركيز منخفض لسطح الاستنبات (نسبة (F/M) منخفضة) في طور النمو المتراجع وطور النمو الذاتي. إن السمة الرياضية الفريدة لتابع القطع الزائد تكمن في أن الثابت K_s مساو لتركيز سطح الاستنبات وذلك عندما يكون استخدام السطح مساو لنصف المعدل الأقصى لاستعماله. ومعادلة المنحني في الشكل 11-38 هي:

$$r_{su} = k \frac{XS_e}{K_s + S_e} \qquad \textbf{(21-11)}$$

حيث r_{su} = معدل استخدام السطح، mg/l من الـ BOD أو الـ COD المُذاب باليوم.

k = المعدل الأقصى لاستخدام السطح، mg/l من الـــ BOD أو الـــ COD المُذاب لكل mg/l من MLSS باليوم.

X = تركيز الكتلة الحيوية، mg/l من الـــ (MLSS).

S_e = تركيز السطح المحيط بالعضويات المجهرية، mg/l من الـــ BOD أو الـــ COD المُذاب

K_s = ثابت التركيز، مساو لتركيز السطح عندما يكون K_s مساو لـــ k/2 ، mg/l من الـــ BOD أو الـــ COD المُذاب

يستخدم مخطط الانسياب الظاهر في الشكل 11-39 لاشتقاق المعادلات الرياضية لعملية حمأة منشطة ممزوجة تماماً. ورموز هذا المخطط البياني هي:

Q = معدل التدفق الداخل لمياه الصرف ، أمتار مكعبة باليوم.

Q_w = معدل الحمأة الفائضة المطروحة من خزان التهوية، أمتار مكعبة باليوم.

$Q - Q_w$ = معدل التدفق الخارج، أمتار مكعبة باليوم.

R = نسبة إعادة التدوير (Q_R/Q)

RQ = معدل إعادة تدوير الحمأة المنشطة

$Q(1 + R)$ = معدل الانسياب من خزان التهوية

V = حجم خزان التهوية، أمتار مكعبة.

X = تركيز الكتلة الحيوية في خزان التهوية، mg/l من الـــ MLSS.

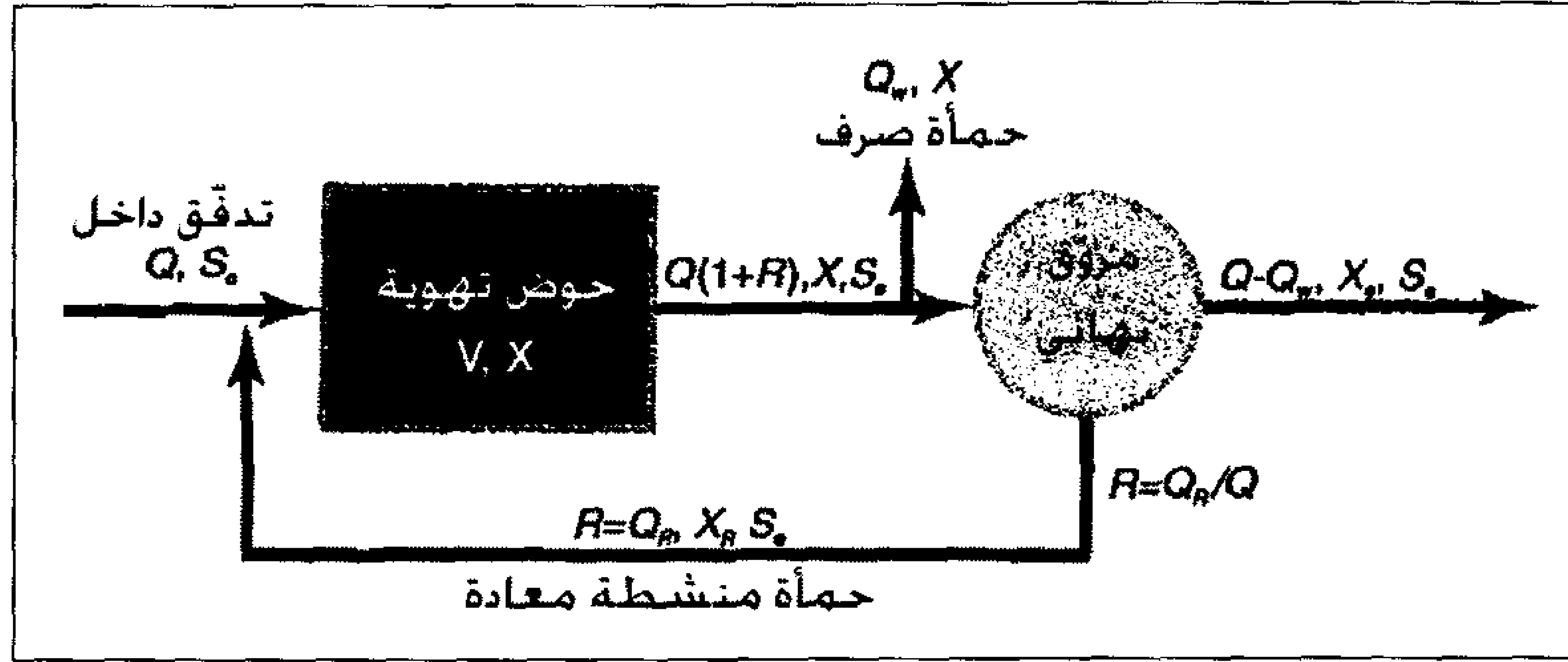
X_R = تركيز الكتلة الحيوية في الحمأة المنشطة معادة التدوير، mg/l من الـــ SS الطيّارة.

X_e = تركيز الكتلة الحيوية في التدفق الخارج.

S_o = تركيز السطح في التدفق الداخل لمياه الصرف، mg/l من الـــ BOD أو الـــ COD المُذاب

S_e = تركيز السطح في التدفق الخارج، حمأة معادة التدوير، خزان التهوية

حيث تُستخدم العلاقات الآتية الرموز المبينة في مخطط الانسياب بالشكل 39-11.



شكل 11-39 مخطط انسياب لعملية حمأة منشطة ممزوجة تماماً

$$E = \frac{(So - Se)100}{So} \quad (22\text{-}11)$$

حيث E = كفاءة إزالة الـ BOD أو إزالة الـ COD المُذاب، نسبة مئوية

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad (23\text{-}11)$$

حيث θ = فترة التهوية، أيام

$$F/M = \frac{QSo}{VX} = \frac{So}{\theta X} = \quad (24\text{-}11)$$

حيث F/M نسبة الغذاء – العضويات المجهرية، غرامات من الـ الـ BOD أو COD المستعملة في اليوم لكل غرام من الـ MLSS الطيار في خزان التهوية

$$Q_c = \frac{VX}{Q_W X + (Q - Q_W) X_e} \quad (25\text{-}11)$$

حيث θ_c = عمر الحمأة (متوسط زمن احتفاظ الخلية)، أيام

وعندما تجري عملية الحمأة المنشطة في الشكل 11-39 تحت شروط حالة استقرار، فيساوي معدل نمو الكتلة الحيوية معدل خسارة الكتلة الحيوية في التدفق الخارج وحمأة الصرف.

$$r_g V = Q_w X + (Q - Q_w) X_e \quad (26\text{-}11)$$

وباستبدال معدل النمو الذاتي من المعادلة 3-25 في الفقرة 3-12، فستصبح المعادلة 11-25 من أجل r_g كالآتي:

$$\frac{1}{\theta_c} = Y\frac{r_{su}}{X} - k_d \qquad \textbf{(27-11)}$$

حيث Y = ناتج النمو، ملغ من زيادة الكتلة الحيوية باللتر لكل ملغ من سطح الاستنبات المُستخدم باللتر

وبإدخال U كرمز لمعدل استخدام سطح الاستنبات النوعي r_{su}/X

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \qquad \textbf{(28-11)}$$

و أيضاً في حالة مستقرة يكون تحديد قيم معدل استخدام سطح الاستنبات r_{su} ومعدل استخدام سطح الاستنبات النوعي U بالمعادلتين

$$r_{su} = \frac{(S_o - S_e)}{\theta X} \qquad \textbf{(29-11)}$$

$$U = \frac{r_{su}}{X} = \frac{(S_o - S_e)}{\theta X} \qquad \textbf{(30-11)}$$

حيث U = معدل استخدام سطح الاستنبات النوعي في اليوم

وبتعويض الحد الأخير من المعادلة 11-30 بالمعادلة 11-27 من أجل r_{su}/X و V/Q، وذلك لحل حجم تهوية الخزان ، نصل إلى:

$$V = \frac{\theta_c Y_Q (S_o - S_e)}{X(1 + k_d\,\theta_c)} \qquad \textbf{(31-11)}$$

إن علاقة الحركية الحيوية المعطاة بالمعادلة 11-21 تُستخدم الآن لاشتقاق معادلة معادلة تضم ثابت الإشباع K_s. وبمساواة المعادلتين 11-29 و11-21، وبالتقسيم على X، وبقلبهما ثم وضعهما في مصفوفة ومن ثم التعويض بـــ U كما هي محدّدة بالمعادلة 11-30، نصل إلى العلاقة التالية

$$\frac{1}{U} = \left(\frac{K_s}{K}\right) + \left(\frac{1}{S_e}\right) + \frac{1}{K} \qquad \textbf{(32-11)}$$

واستناداً إلى ناتج النمو الملاحظ Y_{obs}، المعادلة (3-31)، يمكن حساب إنتاج فائض الكتلة الحيوية من المعادلة 11-32

$$P_x = \frac{YQ\,(S_o - S_e)}{1 + k_d\,\theta_c} \qquad (33\text{-}11)$$

حيث P_x = المواد الصلبة الطيّارة في حمأة الصرف، غرامات باليوم.

إن ظروف التشغيل المفترضة لعملية التهوية في اشتقاق هذه المعادلات هي الآتية:

1. مزج تام في خزان التهوية.
2. انسياب حالة استقرار، تراكيز كتلة حيوية، وتراكيز سطح الاستنبات.
3. سطوح استنبات ذوابة، BOD مرشح أو COD.
4. يتم طرح فائض الحمأة المنشطة من خزان التهوية، وليس من خط إعادة تدوير الحمأة.
5. تركيز سطح الاستنبات في خزان التهوية يساوي تركيز سطح الاستنبات في التدفق الخارج.
6. يحدث النشاط الحيوي في خزان التهوية فقط.

الثوابت الحركية

لتطبيق المعالات الرياضية لتهوية ممزوجة تماماً، يتطلب الأمر القيم العدديّة للثوابت الآتية:

Y = ناتج النمو، ملغ من المواد الصلبة الطيّارة لكل ملغ من الـــ BOD أو الـــ COD المُذابة.

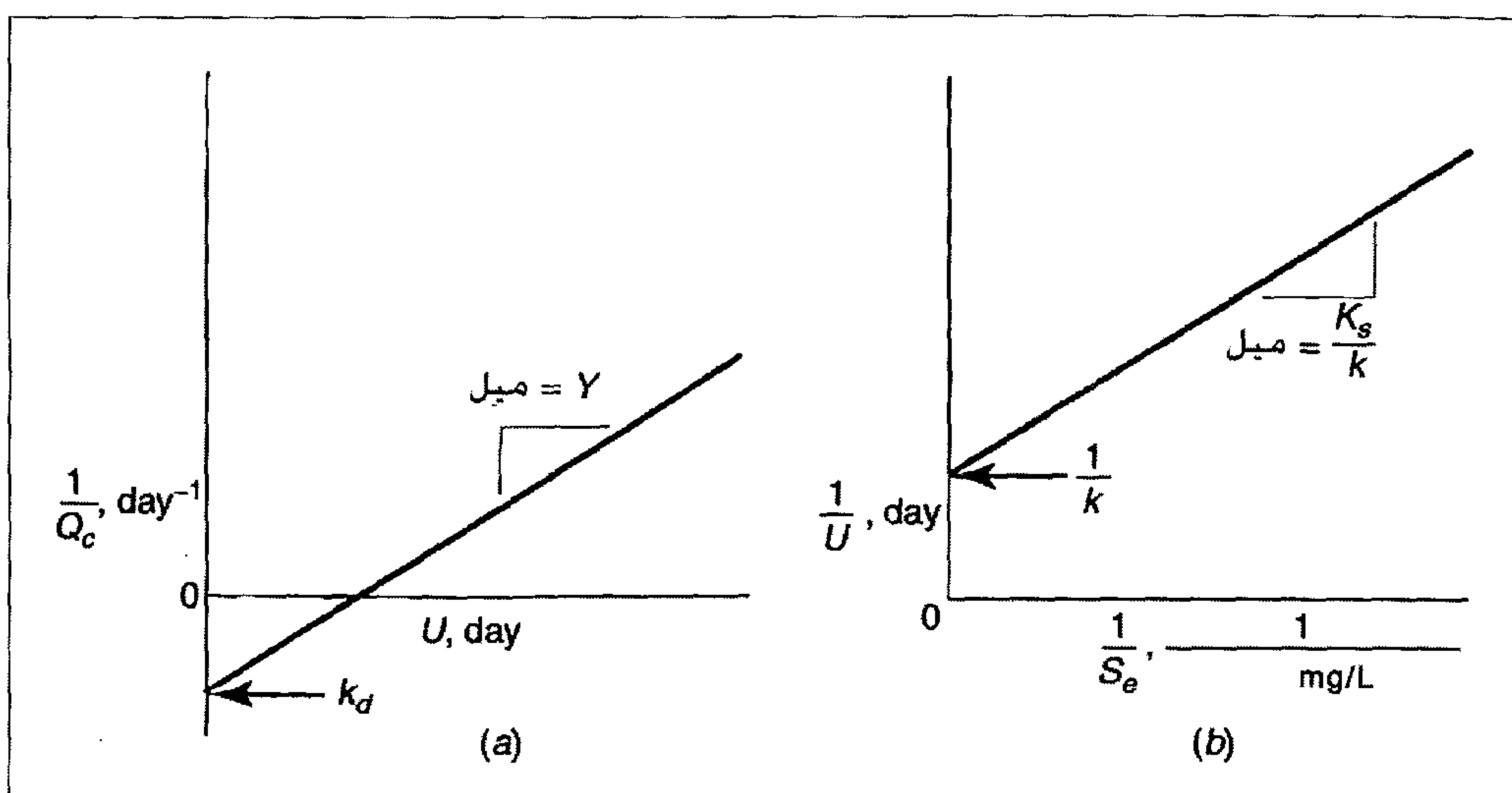
k_d = معامل تحلل الكتلة الحيوية، في اليوم

K_s = ثابت الإشباع، ملغ من الـــ BOD أو الـــ COD المُذابة.

k = المعدل الأقصى لاستعمال سطح الاستنبات، ملغ من الـــ BOD أو الـــ COD المُذابة لكل ملغ من مواد صلبة طيارة باليوم.

ويتطلب الأمر دراسة قابلية مياه الصرف للمعالجة باستخدام وحدة حمأة منشِّطة بكميات على مقياس المخبر لتحديد هذه الثوابت، إلا إذا توفرت بيانات لدراسة على مقياس كامل المحطة. إن ظروف التشغيل في المختبر هي الظروف المفترضة نفسها في اشتقاق المعادلات الرياضية. ولجمع بيانات كافية، تُنفَّذ سلسلة اختبارات تجريبية على عينات حمأة ذات أعمار مختلفة تتراوح بين 3 و20 يوماً تحت ظروف تشغيل حالة استقرار، بما في ذلك معدلات انسياب متجانس ومستمر، ومزج تام في خزان التهوية، وحمولة ثابتة لسطح الاستنبات، وكذلك طرح ثابت للحمأة. وينبغي أن تكون شروط التشغيل الناتجة ثابتة، وهي θ، وMLSS طيارة، وF/M، وθ_c. تتم المحافظة ثبات درجة الحرارة، والـــ pH، وتركيز الأكسجين المُذاب، خلال تنفيذ سلسلة الاختبارات.

ينبغي أن يكون زمن التشغيل لكل فترة اختبار ضعف عمر الحمأة وذلك لضمان أنه تحليل حالة استقرار. ومن متوسط القياسات اليومية لمعدلات الانسياب، وBOD أو COD الذوابين، ومن تراكيز المواد الصلبة المعلقة الطيارة، يتم حساب معدل استعمال سطح الاستنبات النوعي U بواسطة المعادلة 11-28، ويتم حساب عمر الحمأة θ_c بواسطة المعادلة 11-25. يتم رسم قيم $1/\theta_c$ و U لكل اختبار كما هو موضَّح في الشكل (11-40أ). والمعادلة 11-28 هي معادلة خط مستقيم مرسوم عبر هذه النقاط المُسقطة. وميل هذا المستقيم هو ناتج النمو Y، وتقاطعه مع الخط الشاقولي هو معامل تحلل الكتلة الحيوية k_d. بعد ذلك يتم رسم قيم 1U/ مقابل $1/S_e$، كما هو ظاهر في الشكل (11-40 ب). واستناداً إلى المعادلة 11-32، فإن ميل هذا الخط المستقيم المرسوم عبر هذه البيانات هو K_s # k وتقاطعه مع المحور الشاقولي هو 1/k. إن المجالات العامة لمقادير الثوابت الحركية لتهوية حمأة منشطة ممزوجة تماماً مدرجة في الجدول 11-6.



شكل 11-40: طريقة رسم بيانات المختبر لتقدير الثوابت الحركية من دراسة إمكانية معالجة مياه صرف. (أ) رسم بياني للمعادلة 11-27. (ب) رسم بياني للمعادلة 11-31

تصميم العملية

إن عملية التهوية المُصمّمة باستخدام نموذج حركيٍّ يتطلب أن تكون الحمأة المنشطة ممزوجةً تماماً، نظراً إلى أن تطبيق حركية نمو مونود على مجموعة مستنبتات من نظام انسياب مستمر، صالحٌ فقط في المزج التام. وينبغي معايرة ظروف أخرى نموذجية افترضت في أثناء اشتقاق النموذج الرياضي، لاختيار متحوّلات التصميم. ونظراً إلى عدم وجود ظروف حالة استقرار في أثناء التشغيل الفعلي لمحطة معالجة، لذا يجب السماح بالتغيرات اليومية والعشوائية في انسياب مياه الصرف وفي حمولته. ولكون معظم مياه الصرف تحتوي مواد صلبة معلقة، فإن احتياج مياه الصرف للأكسجين يكون مطلوباً من قبل كل من المادة العضوية المعلّقة والمُذاب، حيث وضعت المعادلات الحركية على اعتبارات BOD أو COD. ولمقارنة احتياج الأكسجين الكلّي مع احتياج الأكسجين المُذاب، يمكن لاختبارات BOD أوCOD أن تُجرى على عيناتٍ مرشحة وأخرى غير مرشحة، في أثناء اختبارات إمكانية المعالجة. وأخيراً ينبغي في أثناء تصميم المتحوّلات الأخذ

بالاعتبار قابلية الحمأة للترسب، وذلك لضمان فصل المواد الحيوية الصلبة المعلّقة. وقرائن التصميم هامة جداً للمروّقات الثانوية.

إن الخطوة الأولى في تصميم التهوية تتمثّل في اختيار تركيز BOD المُذاب المرغوب في التدفق الخارجن وذلك استناداً إلى الـــ BOD الكلّي المسموح. ويمكن أن تكون قرينة حمولة التهوية خياراً ما بين إما عمر الحمأة (معادلة 11-25) أو نسبة (F/M) (معادلة 11-24). وتحديد حجم خزّان التهوية اعتماداً على أحد هذه المتحوّلات يتطلب اختيار انسياب التصميم ومقدار MLSS لدى التشغيل. وبمعرفة هذه البيانات يمكن حساب حجم خزّان التهوية باستخدام المعادلة 11-31.

إن عمر حمأة التصميم لمعدل حمولة تقليدية لإنتاج تدفّق خارج ذي محتوى BOD أقل من 30 mg/l، يتراوح في مجال 5 إلى 15 يوم. ويعتمد اختيار تركيز MLSS لدى التشغيل على قابلية ترسب الحمأة المنشطة وكذلك على حمولة الغذاء – العضويات المجهرية. وتتسبب قيمة تصميم منخفضة بإطالة فترة التهوية، بينما تتسبب تراكيز MLSS مفرطة بفصل جاذبي رديء للحمأة المنشطة في المروّق الثانوي. وعموماً تجري عملية حمأة منشطة تقليدية في مجال قيم MLSS يتراوح ما بين 1500 mg/l إلى 3000 mg/l تكون نسبة 70% إلى 80% من المواد الصلبة منها طيارة. لذلك فإن قيمة التصميم النموذجي لتركيز MLSS طيارة تقع ما بين 1200 mg/l إلى 2400 mg/l .

الجدول 11-6: النطاقات النموذجية للثوابت الحركية للحمأة المنشطة والمختلطة نهائياً لمياه الصرف الصحي والمعالجة يالتهوية عند درجة حرارة تقريباً $20^{\circ}C$

النطاق	الوحدات	الثابت
0.8 - 0.4	mg VSS/mg BOD	Y
0.4 - 0.3	mg VSS/mg COD	Y
0.08 - 0.04	في اليوم	k_d
100 - 25	mg/l of BOD	K_s
100 - 25	mg/l of COD	K_s
8 - 4	في اليوم	k

مثال 11-11

يجري تحديد حجم خزان تهوية لعملية تهوية ممزوجة تماماً لانسياب تصميم لمياه صرف قدره 2.0 mgd. يبلغ الـ BOD في التدفق الداخل 130 mg/l ومقدار الـ BOD المُذاب 90 mg/l. وتبلغ قيم التصميم للـ BOD الكلّي في التدفق الخارج 20 mg/l ومقدار الـ BOD المُذاب 7.0 mg/l. وقيم متحوّلات التصميم الموصى بها لعمر الحمأة 10 أيام وللـMLSS 1400 mg/l. لقد أُخذ بالاعتبار في اختيار هذه القيم التغيّرات المتوقعة في انسيابات وقوى مياه الصرف. والثوابت الحركية من دراسة على مقياس المخبر لإمكانية المعالجة هي Y = 0.60 mg VSS/mg لـ BOD ذوّاب و k_d = 0.06 باليوم.

الحل

باستخدام المعادلة 11-31، فإن الحجم المطلوب لخزان التهوية هو

$$V = \frac{10 \cdot 0.60 \cdot 2.0(90-7)}{1400(1+0.06 \cdot 10)} = 0.44 \text{ mil gal}$$

من المعادلة 11-23

$$\theta = \frac{10 \cdot 0.60 \cdot 2.0(90-7)}{1400(1+0.06 \cdot 10)} = 5.3 \text{ hr}$$

من المعادلة 11-24

$$F/M = \frac{90}{(5.3/24)1400} = 0.29 \ \frac{\text{lb soluble BOD/day}}{\text{lb volatile MLSS}}$$

باستخدام المعادلة 11-33، فإنّ فائض الكتلة الحيوية في اليوم هو

$$P_x = \frac{0.60 \cdot 2(90-7)8.34}{1+10 \cdot 0.06} = 519 \text{ lb VSS/day}$$

8-11 برك الاستقرار

تُستعمل عموماً برك الاستقرار والتي تُعرف أيضاً بالأهوار وبرك الأكسدة، كمعالجة ثانوية في المناطق الريفية كبرك تصفية لمحطات المعالجة الميكانيكية. وبالرغم من أنها تخدم فقط قرابة 7% من السكان إلا أنه يوجد آلاف من تجهيزات الأهوار في الولايات المتحدة، 90% منها موجودة في تجمعات سكانية لا تزيد على

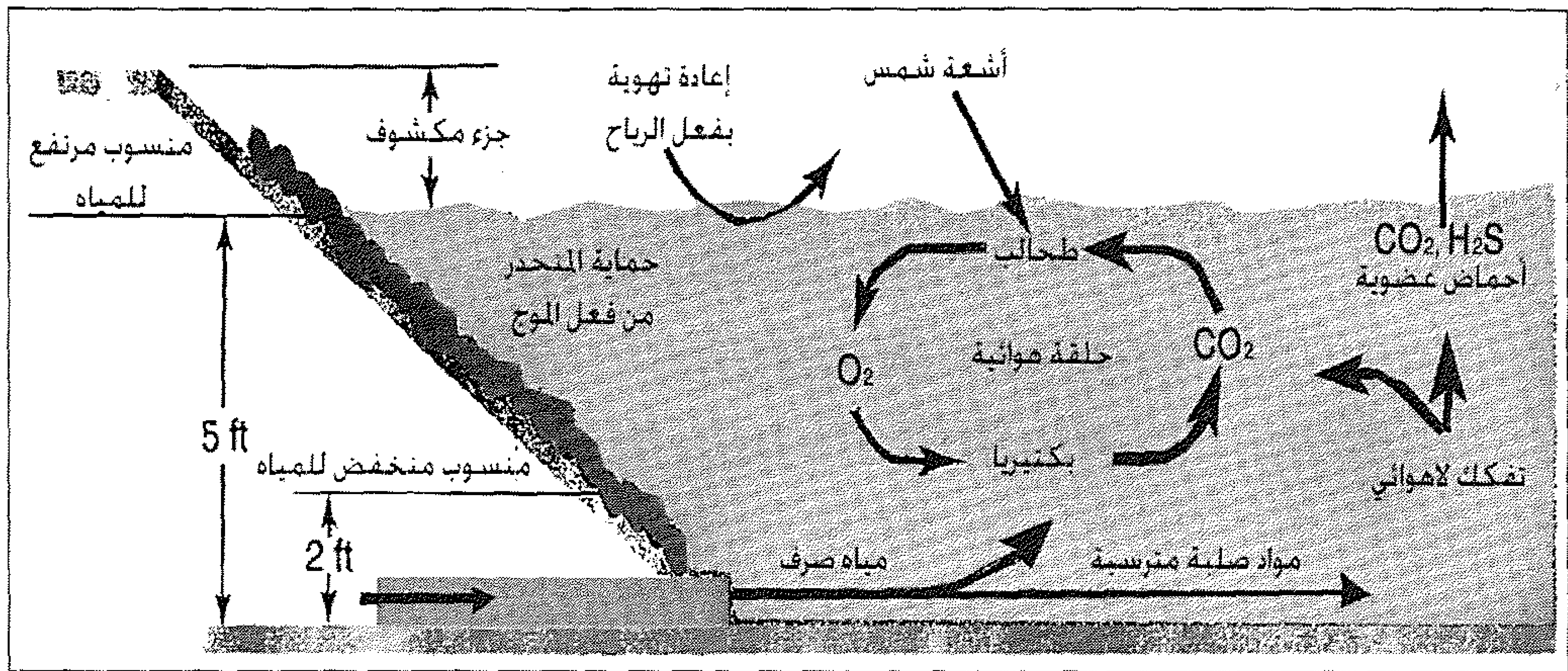
10000 نسمة. تُصنّف البرك كالآتي، اختيارية، ثالثية، مهوّاة، ولاهوائية، وذلك تبعاً للنشاط الحيوي الذي يجري ضمنها. تتضمن المعالجة المسبقة قياس الانسياب والغربلة. وسيُناقش كلٌ نوع من أنواع البرك هذه في الفقرات الآتية.

البرك الاختيارية

هي أكثر أنواع الأهوار استعمالاً لاستقرار مياه صرف المدن. تتضمن التفاعلات البكتيرية التفكك الهوائي واللاهوائي، ومن هنا جاءت تسمية البرك الاختيارية. يمثِّل الشكل 11-41 النشاط الحيوي الأساسي فيها. يتم تحطيم العضويات المطروحة في المعلّق بواسطة البكتيريا، محرراً مغذيات نتروجين وفوسفور وثاني أكسيد الكربون. تَستخدم الطحالب هذه المركبّات اللاعضوية، إضافةً إلى الطاقة المستمدَّة من ضوء الشمس للنمو محررة الأكسجين إلى المحلول. يُستهلك الأكسجين المُذاب بدوره من قبل البكتيريا. وقد يدخل الأكسجين أيضاً بواسطة إعادة التهوية عبر فعل الرياح.

تتحلل المواد الصلبة القابلة للترسب تحت ظروف لاهوائية على القاع لتنتج مغذيات لاعضوية ومركبات كريهة الرائحة، مثل كبريت الهيدروجين، والأحماض العضوية. وتتأكسد هذه الأخيرة في المياه السطحية المهواة، ما يمنع انبثاقها إلى الغلاف الجوي. تعيق درجات الحرارة المتدنية كلاً من التحلل البكتيري ونمو الطحالب. ففي فصل الشتاء عندما تزيد درجة حرارة مياه البرك بضع درجات فقط عن درجة التجمد. فإن عضويات مياه الصرف الداخلة ستتراكم في الماء الباردة. ويتراجع النشاط الميكروبي أكثر في الغطاء الجليدي والثلجي اللذان يمنعان اختراق ضوء الشمس وتهوية الرياح. وتحت تأثير هذه البيئة، يمكن أن تصبح الماء لاهوائية، وخلال ذوبان الجليد خلال الربيع تطلق روائح كريهة، إلى أن تعود الطحالب إلى سابق عهدها من النمو. وقد يستغرق ذلك بضعة أسابيع تبعاً للظروف المناخية وكمية المواد العضوية في مياه الصرف المتراكمة خلال الطقس البارد.

تتراوح أعماق الماء في أثناء التشغيل من 2 ft إلى 5 ft، مع جزء مكشوف من الساتر ارتفاعه 3 ft فوق أعلى منسوب لسطح الماء (شكل 11-41). إن عمقاً أدنى للمياه قدره 2 ft ضروري للحوؤل دون نمو أعشاب مائية ضارّة عميقة الجذور، غير أن تجاوز الماء لعمق 5 ft قد يسبب روائح كريهة نتيجة الحياة اللاهوائية على القاع.



شكل 11-41: مخطط لبركة استقرار اختيارية يظهر التفاعلات الحيوية الأساسية للبكتيريا والطحالب (ارجع أيضاً إلى الشكل 3-19)

تتمثّل البنية النموذجية ببركتين ضحلتين أو أكثر، ذواتي قاع منبسط مُحاطة بسواتر ترابية (شكل 11-42). تدخل مياه الصرف عبر مدخل إلى صندوق توزيع لتنساب من ثم بين الخلايا عبر خطوط متصلة ببعضها البعض بواسطة صمامات وتتابع انسيابها إلى بنية المخرج. تصبّ خطوط المدخل، والتي يتم التحكُّم بها بواسطة بوابات توقّف في صندوق التوزيع، قرب مركز البركة. ويتم التحكُّم وإدارة أعماق الماء في أثناء التشغيل بترتيب فَتح وإغلاق الصمامات في بنية الصرف. يتم إشادة السواتر الترابية بمنحدرات منبسطة نسبياً لإتاحة جزّ العشب ولتخفيف انزلاق الجدار الترابي إلى الهور. ويتم غالباً حماية المنحدر الداخلي على امتداد خط الماء

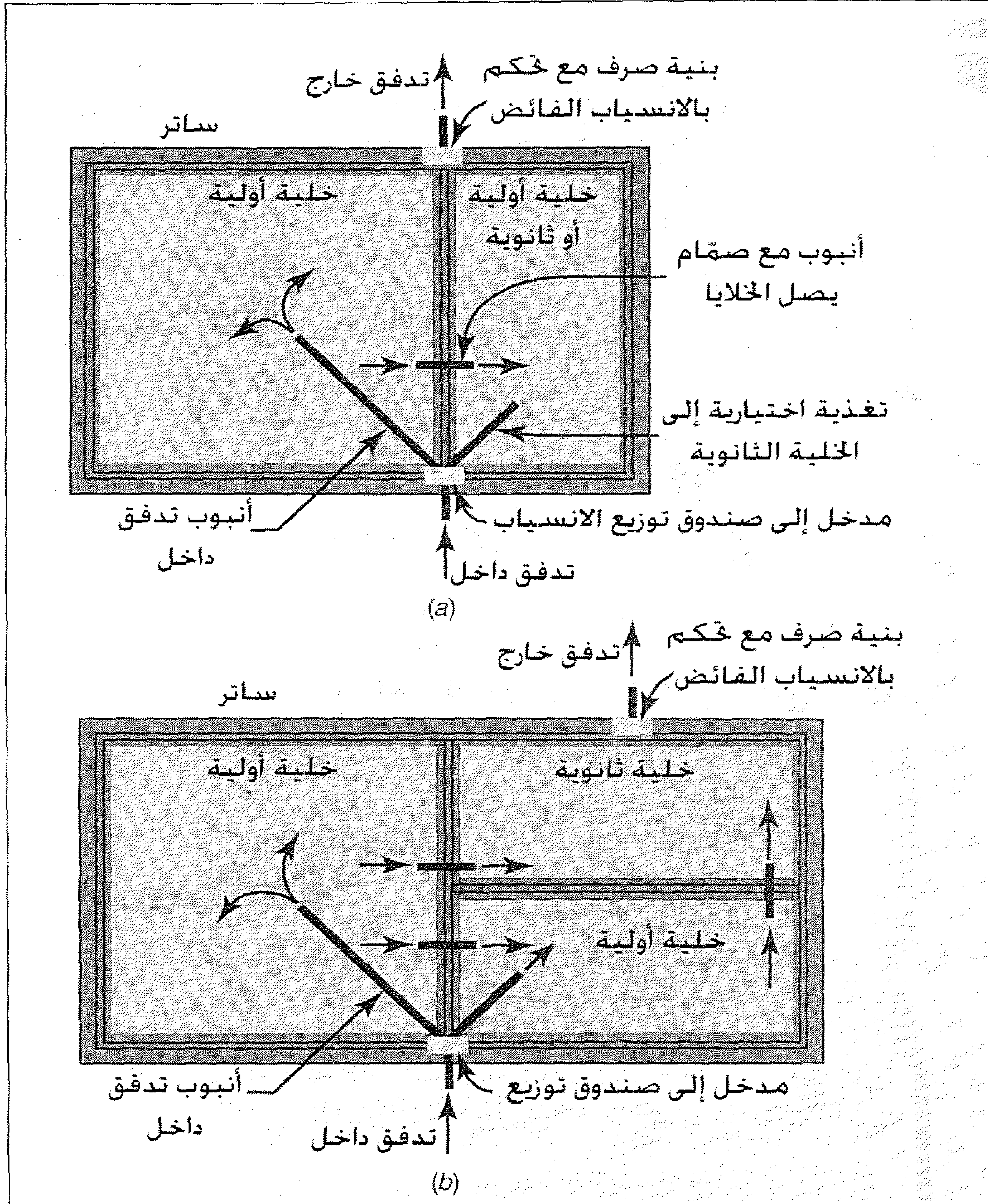
برصف الحجارة ورصّها لمنع الانجراف بفعل الموج. فإن كانت التربة نفوذة، ينبغي تكتيم قيعان البرك إما بغضار البنتونايت أو بتبطينها بالبلاستيك لمنع تلوث المياه الجوفية. كما ينبغي تسييج المنطقة لمنع وإعاقة دخول المواشي إليها.

يعبر عن حمولات BOD في برك الاستقرار بعدد باوندات BOD المستعملة في اليوم لكل دونم من مساحة سطح الماء (عدد غرامات BOD في اليوم بالمتر المربع)، وأحياناً بعدد السكان المكافئ للـ BOD بالدونم. تبلغ الحمولة القصوى المسموحة حوالى 20 باوند من الـ BOD لكل دونم في اليوم ($2.2\ g/m^2\ .\ d$) في الولايات الشمالية وذلك لتقليل الإزعاج الناتج عن الرائحة الكريهة إلى الحد الأدنى خلال فصل الربيع من السنة. أما في المناخات التي لا يسود فيها غطاء ثلجي، فقد تُستخدم حمولات عضوية أعلى، ففي الجنوب والجنوب الغربي، فإن حمولةً قدرها 50 باونداً من الـ BOD في اليوم بالدونم ($5.6\ g/m^2\ .\ d$) تعتبر قيمةً عمليةً. وهذه الحمولات هي 0.9 إلى 1.3 باوند من الـ BOD لكل ألف cu ft في اليوم لعمق مياه قدره ft 5، وهي حمولات عملياً أقل من الحمولات الحجمية المستعملة في وحدات التهوية والترشيح. يتراوح زمن الاحتفاظ بمياه الصرف في الأهوار ما بين 3 إلى 6 أشهر تبعاً للحمولة المستعملة، وعمق مياه الصرف، ومعدل التبخر، وللفقد نتيجة الارتشاح.

يمكن تشغيل الهور المكوَّن من خليتين (الشكل 11-42)، إما بالتسلسل أو بالتوازي. حيث تدل الأسهم على نمط الانسياب في التشغيل بالتسلسل. وفي الإنشاءات الكبيرة فإنه يوصى بحد أدنى من ثلاث خلايا مع بركة ثانوية لا يمكنها تلقّي مياه صرف. تسمح الترتيبات المبينة بالشكل (11-42 ب)، بتشغيل بالتسلسل أو بالتوازي للخلايا الأولية، والتي تعمل بالتسلسل مع الخلايا الثانوية. ويقلّل هذا النمط من الانسياب إمكانية انقطاعه.

وتوفر الخلية الثانوية سعةً تخزينيةً إضافيةً وتسمح بعزل التدفق الخارج لمياه الصرف قبل طرحه. وفي حساب حجم البرك، لا يتم تضمين الخلية الثانوية في حسابات حمولة الـ BOD، غير أن الحجم يؤخذ بالاعتبار في حساب زمن الاحتفاظ بمياه الصرف. يُزاد عمق الماء في البرك الثانوية بمقدار ft 8، نظراً إلى أن لا يحتمل

انبثاق الروائح الكريهة كانبثاقها من خلية لا تستقبل مياه صرف خام. تنتج برك الاستقرار التي تعالج مياه صرف محلية تدفّقاً ذا BOD أقل من 30 mg/l خلال التشغيل في الطقس الحار. ولكن الإيفاء بمعايير التدفق الخارج البالغ 30 mg/l غير محتمل، نظراً إلى أن الطحالب المعلّقة في الماء تساهم عموماً بـــ 50 mg/l إلى 100.



شكل 11-42: ترتيبات بركة استقرار نموذجية. (أ) هور مكوَّن من خليتين يمكن تشغيلها إما بالتوازي أو بالتسلسل (ب) هور مكوَّن من ثلاث خلايا مع برك أولية يمكن تشغيلها إما بالتوازي أو بالتسلسل، يليها بركة ثانوية لتأمين سعة حفظ إضافية وطرح مُتحكَّم به

وفي بعض الحالات يمكن أن تنخفض أعداد الطحالب في البرك ذات الحمولات الخفيفة عند تشغيلها بالتسلسل. فإن رُفض طرح تدفّق خارجيٍّ في مجرى مائيٍّ، فالبديل هو طرحه في الأرض عبر ريّ المحاصيل الزراعية قرب موقع الهور.

مثال 11-12

تُشاد برك استقرار لبلدة عدد سكانها 3000 نسمة، كما هو بادٍ في الشكل 42-11 ب)، بحيث تكون مساحة الخلية الأكبر 14 دونم ومساحة كل من الخليتين الصغيريتين 7 دونمات. يبلغ المتوسط اليومي لانسياب مياه الصرف 0.24 mgd والذي يحوي 450 lb من الــ BOD، ما يكافئ 80 gpcd و0.15 lb BOD للفرد في اليوم أو 225 mg/l BOD. (أ) احسب حمولات الــ BOD اعتماداً على المساحة الكلية للخلايا الأولية. (ب) احسب عدد أيام التخزين الشتائي المتوفر ما بين منسوبي الماء 2 ft و5 ft بافتراض أن فقدَي التبخر والارتشاح يبلغان 0.10 in. باليوم.

الحل

(أ) تبلغ حمولة الــ BOD على مساحة البركة الأولية 450/21 = lb 21.4 في اليوم للدونم. حمولة السكان المكافئة للــ 21.4/0.17 = 125 فرد لكل دونم.

(ب) حجم التخزين :

$$(5\text{ ft} - 2\text{ ft}) \cdot 28\text{ acres} \cdot 43560\text{ sq ft per acre} = 3666000\text{ cu ft} = 27.4\text{ mil gal}$$

فقد الماء:

$$\frac{10\text{ in./day}}{12\text{ in.ft}} \;.\; 28\text{ acres} \;.\; 43560\,\frac{\text{sq}}{\text{acres}} \;.\; 7.48\,\frac{\text{gal}}{\text{cu ft}} = 76000\text{ gpd}$$

زمن التخزين المُتاح:

$$\frac{27.4\text{ mil gal}}{0.24\text{ mgd} - 0.076\text{ mgd}} = 170\text{ days}$$

البرك الثالثية

تخدم هذه الوحدات، والتي يُشار إليها أيضاً ببرك الإنضاج أو برك التصفية، كمعالجة المرحلة الثالثة للتدفق الخارج من الحمأة المنشطة، أو للمعالجة الثانوية للمرشح التقطري. يقلِّل الاستقرار الذي يتم عبر الاحتفاظ والتهوية السطحية، وكمية المواد المعلّقة، والـــ BOD، والعضويات المجهرية البرازية، والأمونيا. وعمق الماء عموماً محدود بين 2 ft إلى 3 ft لتأمين المزج واختراق ضوء الشمس. وتقل حمولات الـــ BOD عن 15lb من الـــ BOD لكل دونم في اليوم (g/m^2 . day)، وأزمنة احتفاظ أقصر نسبياً تتراوح بين 10 و15 يوم.

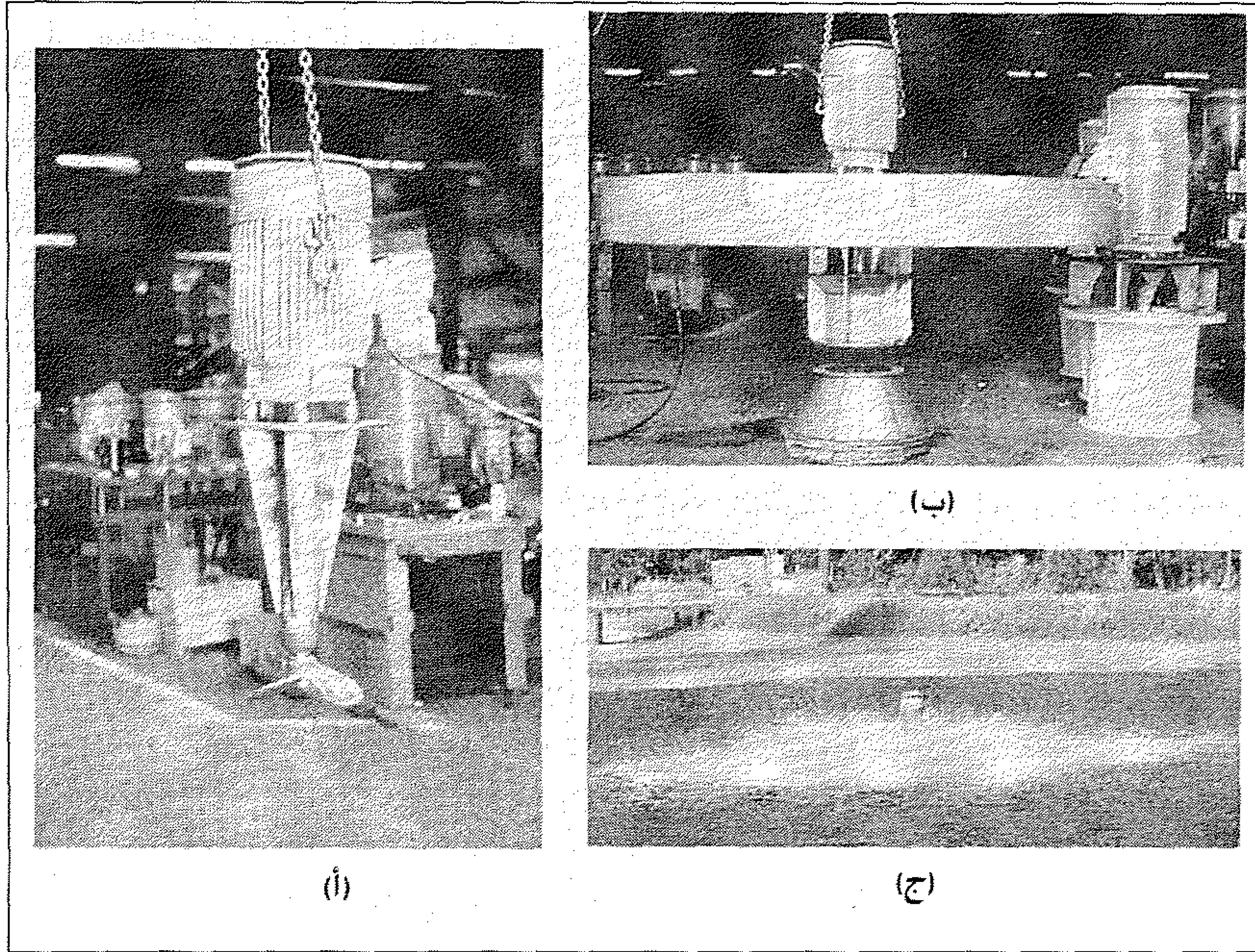
الأهوار المهوّاة

تستخدم البرك المهوّاة الممزوجة تماماً، والتي غالباً ما يليها برك اختيارية لمعالجة المرحلة الأولى لمياه صرف عالية القوة قادمة من المدن، وكذلك للمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي. يتراوح عمق الأحواض بين 10 ft و12 ft وهي مهوّاة بوحدات ميكانيكية طافيةٍ أو مثبَّتة على دعامة جسر (شكل 11-43). صُمِّمت المهويّات بحيث تؤمن مزجاً لمعلّق الكدرة المكروبية وإمداداً بالأكسجين المُذاب. لا تتضمن العملية الحيوية الطحالب، ويعتمد الاستقرار العضوي على المحلول الممزوج الذي يتطور ضمن الحوض، نظراً إلى عدم اتخاذ استعدادات مسبقة للترسيب ولإعادة الحمأة المنشطة. إن إزالة الـــ BOD تابعة لفترة التهوية، ولدرجة الحرارة، ولطبيعة مياه الصرف. والمعادلة الرياضية الشائعة لتخفيض الـــ BOD في بركة مهوّاة ممزوجة تماماً هي الآتية:

$$\frac{\text{BOD تدفّق الخارج}}{\text{BOD تدفّق الداخل}} = \frac{1}{1+(k\,t)} \qquad (34\text{-}11)$$

حيث k ثابت معدل التفاعل إلى الأساس e، باليوم

و t فترة التهوية، بالأيام



شكل 11-43: صور لمهوٍّ عائم (أ) مجموعة المحرّك ومروحة الدفع. (ب) مهوٍّ تام مع مجموعة طافيــة وكــأس للسحب. (ج) مهوّي عائم قيد التشغيل. (موافقة الصور من: **Aqua-Aerobic Systems, Inc.**)

تعتمد قيمة k بصورة أساسيّة على إمكانية التحلل الحيوي للمواد العضوية في طرح الصرف، وكذلك على درجة حرارة مياه الصرف. تتراوح قيم k لدى درجة حرارة 20°C لمياه صرف مختلفة، في مجال واسع يمتدّ من 0.3 إلى 1.0 في اليوم، وينبغي أن يتم تقدير قيمة k لمياه صرف محدّدة تجريبياً. تكون فترات التهوية التصميمية عادةً في مجال يتراوح من 3 أيام إلى 8 أيام تبعاً لدرجة المعالجة المرغوبة ولدرجة حرارة مياه الصرف خلال الموسم البارد من السنة. فمثلاً، توفر تهوية مياه صرف مدنية نموذجية لمدة خمسة أيام لدى درجة حرارة 20°C تخفيضاً للــ BOD بنسبة 85%، ويتسبب إنقاص درجة الحرارة إلى 10°C بانخفاض الكفاءة إلى 60% تقريباً. ويمكن حساب نقل الأكسجين بواسطة المهوّيات السطحية في أهوار مياه الصرف، من معدل نقل الأكسجين في المياه النظيفة والموضوع من قبل المصنّع كالآتي:

$$R = R_0 \frac{\beta C_S - C_t}{C_\infty} \cdot 1.02435^{T-20} (\alpha) \qquad \textbf{(35-11)}$$

تَنتج مشاكل الرائحة الكريهة والكفاءة المنخفضة، إما نتيجة تصميم غير سليم للأهوار المهوّاة أو بسبب تشغيلها بشكل سيّئ. ويضمن كل من المزج الكلّي الشامل وإضافة أكسجين مُذاب مناسب، تشغيلاً بلا روائح كريهة. فإن كانت أدوات التهوية غير مناسبة، يمكن أن يتسبَّب توضع المواد الصلبة وتراجع الأكسدة، بتحلل لاهوائي ينتج منه روائح كريهة. وعند التعامل مع مياه الصرف الصناعيّة، فإن الأمر يتطلب معالجةً مسبقة وتحكماً، نظراً إلى أن الكميات الداخلة الكبيرة من النفايات الحيوية القابلة للتحلل، أو من النفايات الصناعية، يمكن أن تسبب اضطراباً في العملية. ويمكن للارتشاح المتسرب إلى داخل نظام جمع المجارير خلال الطقس الرطب أن يكون ذا تأثير ضار على الهور المهوّى عبر اختزال فترة التهوية وجرف الكدرة المكروبية خارج الحوض. وأنى مثَّل الارتشاح مشكلةً، فإنه يمكن، وبتحويل جزء من انسياب الطقس الرطب حول هور التهوية إلى البرك المرحلة الثانية الاختيارية، منع حمولة هيدروليكية غر مرغوبة من التأثير في أحواض التهوية. وفي الشتاء، يجب ضبط المهوِّيات ونصب مصدات رياح لتخفيف تبريد مياه الهور.

مثال 11-13

هور مهوّى بعمق 10 ft وحجم محلول قدره 2.10 mil gal مجهّز بأربعة مهوّيات سطحية كل منها 10 hp. معدل نقل الأكسجين من قبل المصنّع 2.5 lb أكسجين لكل hp-hr. يبلغ التدفق الداخل 0.30 mgd، وهو مكوَّن من مياه صرف محلية وصناعية مشتركة بمتوسط BOD قدره 600 mg/l، والذي يعادل 1500 lb/day. واستناداً إلى دراسات المعالجة، فإن خصائص مياه الصرف هي معامل α البالغ 0.9 ومعامل β قدره 0.8. كان حدّا درجة الحرارة لمياه الصرف المهوّاة $10^{\circ}C$ في الشتاء و$25^{\circ}C$ في الصيف. فإن كانت إزالة BOD المرغوبة بحدها الأدنى 75%، فهل سعة التهوية مناسبة؟ افترض أن 1.0 lb أكسجين مطلوبة لكل باوند من الـ BOD المُزالة، وأن تركيز الأكسجين المُذاب في مياه الصرف المهواة ينبغي أن يكون بحد أدنى قدره 2.0mg/l .

الحل

زمن الاحتفاظ :

2.10 mil gal /0.30 mgd = 7.0 days (مقبول)

الحد الأدنى المرغوب لإزالة BOD ولنقل الأكسجين

47 باوند من الأكسجين بالساعة = 1130 lb/day

المعدل المطلوب لنقل الأكسجين:

1130/24= 47 lb من الأكسجين/hr

من الجدول 2-5، C_s لدى $10^{\circ}C$ = 11.3 mg/l

نقل الأكسجين بأربعة مهوّيات سعة كل منها 10 hp لدى $10^{\circ}C$ باستخدام المعادلة 11-35 هو

$$R_{10^{\circ}c} = 4 \cdot 10 \cdot 2.5 \frac{0.8 \, . \, 11.3-2.0}{11.3} \cdot 10.24^{10-20}(0.9)$$

= 44 lb/hp-hr (مقبول)

من الجدول 2-5، C_s لدى $25^{\circ}C$

نقل الأكسجين بأربعة مهوّيات سعة كل منها 10 hp لدى $10^{\circ}C$ باستخدام المعادلة 11-35 هو

$$R_{25^{\circ}c} = 4 \, . \, 10 \cdot 2.5 \frac{0.8 \, . \, 11.3-2.0}{11.3} \cdot 10.24^{25-20} (0.9)$$

= 57 lb/hp-hr (مقبول)

9-11 تعقيم التدفق الخارج

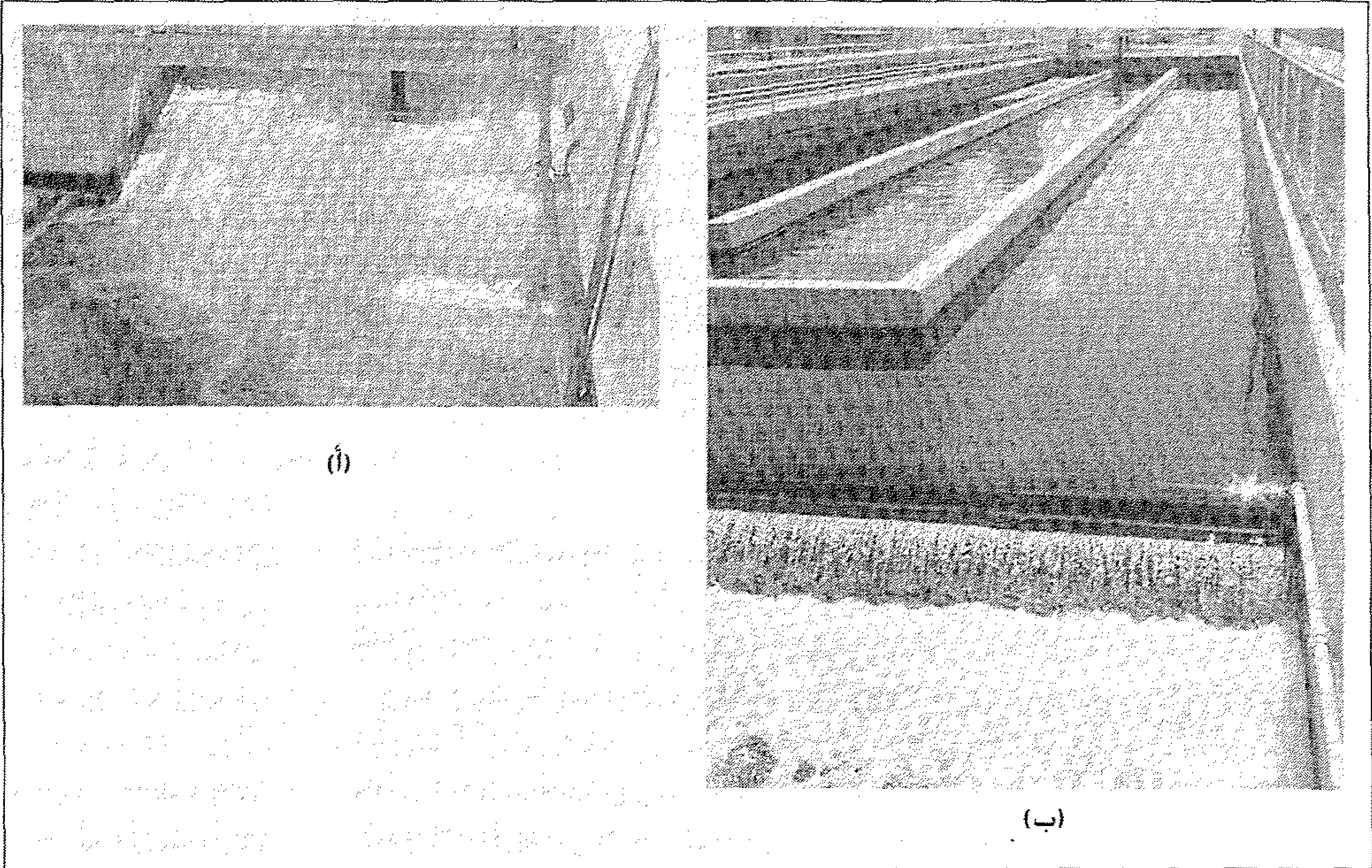
إن الهدف من تعقيم مياه الصرف هو حماية الصحة العامة عبر تعطيل العضويات الممرضة، بما في ذلك البكتيريات المعوية، والفيروسات، والابتدائيات. ويتحدد تعقيم مقنع لتدفّق خارج، باختبار متوسط التركيز الحجمي الأقصى للبكتيريا القولونية البرازية قدره 200 لكل 100 ml بعد 30 يوماً من متتابعة، و400 لكل 100 ml بعد 7 أيام متتابعة. يبلغ عدد العضويات القولونية في التدفق الخارج من

المرشحات التقطرية، وأنظمة الحمأة المرشَّحة، وبرك الاستقرار في مجال 100000 إلى 10000000 لكل 10 ml. تعتمد سلامة طرح التدفق الخارج عبر تخفيفه بالمياه السطحية بعد كلورته، على البرهان بأن تخفيف القولونيات البرازية من ml $10^6/100$ إلى 400-200/10 ml يستأصل الغالبية الكبرى من المُمرضات البكترية، ويعطِّل عدداً كبيراً من الفيروسات المعوية. وأكثر المعقمات شيوعاً هي الكلور والأشعة فوق البنفسجية.

الكلورة

الكلور هو أكثر المواد الكيميائية اقتصادية واستخداماً في التعقيم. تعتمد جرعة الكلور الضرورية للتعقيم على pH مياه الصرف، ووجود مواد متداخلة، ودرجة الحرارة، وزمن التّماس. يوفر استعمال 8 mg/l إلى 15 تعقيماً كافياً في وحدات مُصمّمة بشكل جيد بزمن تماس أدنى قدره 20 min إلى 30 دقيقة (لقد نوقشت كيميائية الكلور في الفقرة 7-12 وأظهر الشكلان 7-18 و7-19 معدات الكلورة).

يتكون تماس الكلور من مزج أوليٍّ سريع، يُحدِث فناءاً شديداً وسريعاً عند نقطة التّماس مع الكلور، وفي حوض الانسياب الساد لفترة لا تقل عن 30 دقيقة لدى انسياب الذروة، وذلك إعداداً لتعقيم متزايد، كما هو موضّح في الشكل 11-44. تَستخدم حجرة المزج السريع أداة مزج ميكانيكية لنشر محلول الكلور عبر كامل مياه الصرف. تتسبب إضافة المحلول إلى قناة مفتوحة بنشر محدود جداً وكفاءة كلورة متدنية نظراً إلى أن الانسياب يكون عادةً متطبقاً. إن أكفأ الخزّانات لتحقيق التماس هو حجرة طويلة تقترب من ظروف الانسياب السادّ. ولإيجاد مثل هذه الظروف، تقسم الخزّانات بواسطة جدران داخلية لإيجاد مساحة عرضها 10 ft أقدام بعمق 10 ft وبالطول الضروري لزمن الاحتفاظ. يكشف اختبار الصبغة في الخزان عن وجود الأمكنة التي لا يمكن الوصول إليها، وعن انقطاع الانسياب، ما يسبب قياساً أكثر دقّة لحجم الخزان. إن القياسات الدقيقة والتحكُّم بمتبقي الكلور هامة للغاية لتشغيل كفؤ واقتصاديّ.



شكل 11-44: صورة لحوض تماس الكلور. (أ) حوض مزج سريع، يظهر مزجاً ذا طاقة عالية عند نقطة حقن محلول الكلور. (ب) قنوات ضيقة وطويلة ضمن الحوض توجد ظروف انسياب السادّ لتماس الكلور. حُدّد حجم ثلاثة أحواض لتماس قدره 20 دقيقة قبل الطَرح. حُدّد حجم أحد الأحواض لــ 90 دقيقة من أجل إعادة الاستعمال ولاحتياج الماء ضمن المحطة. (الصور ملتقطة في مرفق مراقبة تلوّث مياه مدينة لاس فيغاس Las Vegas (Water Pollution Control Facility

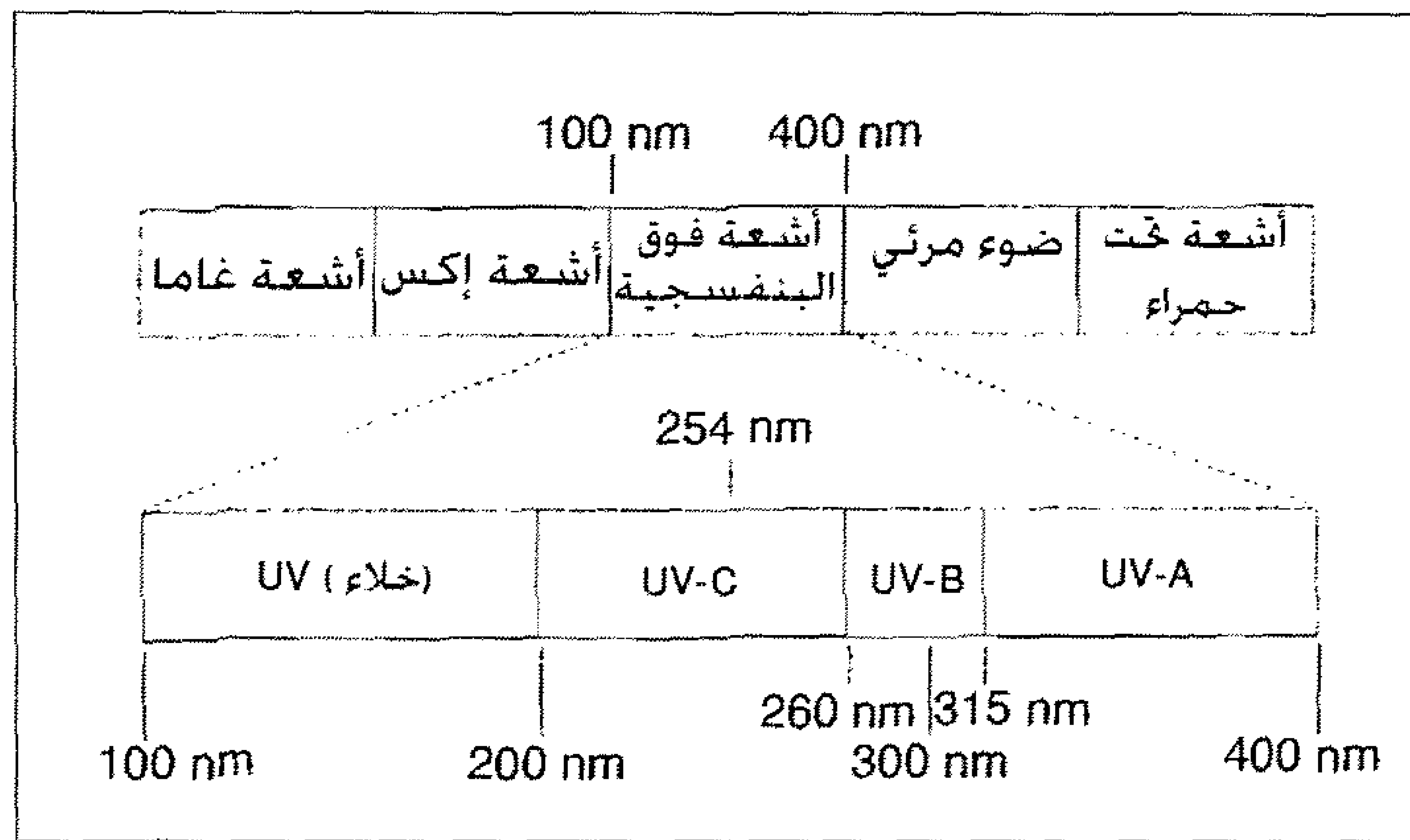
يمكن للمراقبة الأوتوماتيكية لمتبقي الكلور والتحكم بالتغذية المرتدة أن تمنع حدوث تراكيز منخفضة، وكذلك تفعل كلورة زائدة، ما يتسبب بطرح تدفّق خارج سامّ للحياة المائية. لقد حددت بعض الوكالات القانونية المتبقيات القصوى للكلور في التدفق الخارج غير المخفف ما بين 0.0mg/l إلى 0.5 وذلك لمنع سُمِّية محتملة في الجداول التي تتلقى هذا التدفق. قد يتطلب الأمر إزالة كلورة بهدف إزالة سُمِّية التدفق بعد إنجاز التعقيم. إن أقل الطرق كلفة وأكثرها فاعلية هي إضافة سلفر ثاني أكسيد الكبريت (بشكل غاز) أو ميتابيكبريتات الصوديوم (بشكل سائل). تشابه أنظمة تغذية ثاني أكسيد الكبريت أو صوديوم ميتابيكبريتات الصوديوم مثيلاتها المُستخدمة في أنظمة تغذية الكلور.

تحتوي مياه الصرف على كميات معتبرة من العضويات المجهرية وقد تحوي مُمرضات حتى بعد تحقيق درجة متقدمة من المعالجة. تُستخدم الكلورة عادةً للتعقيم،

ولكن الكلور يتفاعل أيضاً مع المركّبات العضوية لتشكيل منتجات جانبية تدعى ميثان ثلاثي الهالوجين، والتي بحد ذاتها يمكن اعتبارها خطراً صحياً. قد تكون الحدود التنظيمية المفروضة على منتجات الكلورة مقيّدة إلى حد كاف بحيث تحرِّم استخدام التعقيم بواسطة الكلور. تتضمّن البدائل[2] استخدام الأوزون، وثاني أكسيد الكلور، وبرمنغنات البوتاسيوم، وكلورأمين، وفوق أكسيد الهيدروجين، والأشعة فوق البنفسجية (UV). إن للتعقيم بالـــ (UV) مزيّة التعقيم بدون الحاجة لعامل كيميائي. وقد تُستخدم أشعة (UV) بالترافق مع فوق أكسيد الهيدروجين وذلك لتحسين الأكسدة والتعقيم. وقد يستخدم الكلور مع التعقيم بالـــ (UV) كمعقم داعم، وعندما يكون وجود متبقي معقِّم ضرورياً.

التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية

يقع طيف الأشعة فوق البنفسجية بين أشعة X والطيف المرئي (انظر الشكل 45-11) ويقسم إلى أربعة حقول. إن لأشعة (UV) ذات طول موجي يقع ما بين 200 و300 نانومتر أكبر تأثير على العضويات المجهرية الأقل تفككاً في المياه. ويعيق إشعاع الـــ (UV) العضويات من التكاثر وذلك بتدميره الـــ DNA. ففي أثناء التكاثر العادي، تنفصل جدائل اللولب المضاعف للـــ DNA ما يسمح له بأن يُقرأ ويتضاعف (شكل 46-11). يتسبَّب امتصاص (UV) باتصال أجزاء من بنية الـــ (DNA الأنوسين والثيامين) ببعضها لتشكل ما يدعى (زوج: دايمر) يعيق التكاثر. كما تدمّر الأشعة فوق البنفسجية الفيروسات والبكتيريا في أشكالها البوغيّة والكيسيّة. فإن كان التدمير الفيروسي ضرورياً، يمكن استخدام معالجة مسبقة بفوق أكسيد الهيدروجين أو معالجة لاحقة بالكلور. وليس لدى معظم البكتيريا أنزيمات ضرورية لإصلاح ضرر الأشعة فوق البنفسجية. وقد تخضع البكتيريا لعملية إصلاح ضوئي في ضوء الشمس. فقد تقوم الفوتونات التي ترتطم بالـــ DNA المتضررة بفك الأزواج والسماح لها بالتكاثر، لم تظهر الدراسات البحثية إعادة نشاط الجارديا، وبالرغم من أن الكريبتوسبوروديوم قد يخضع لبعض الإصلاح، إلا أنه لم يتم استرجاع قدرته على العدوى.



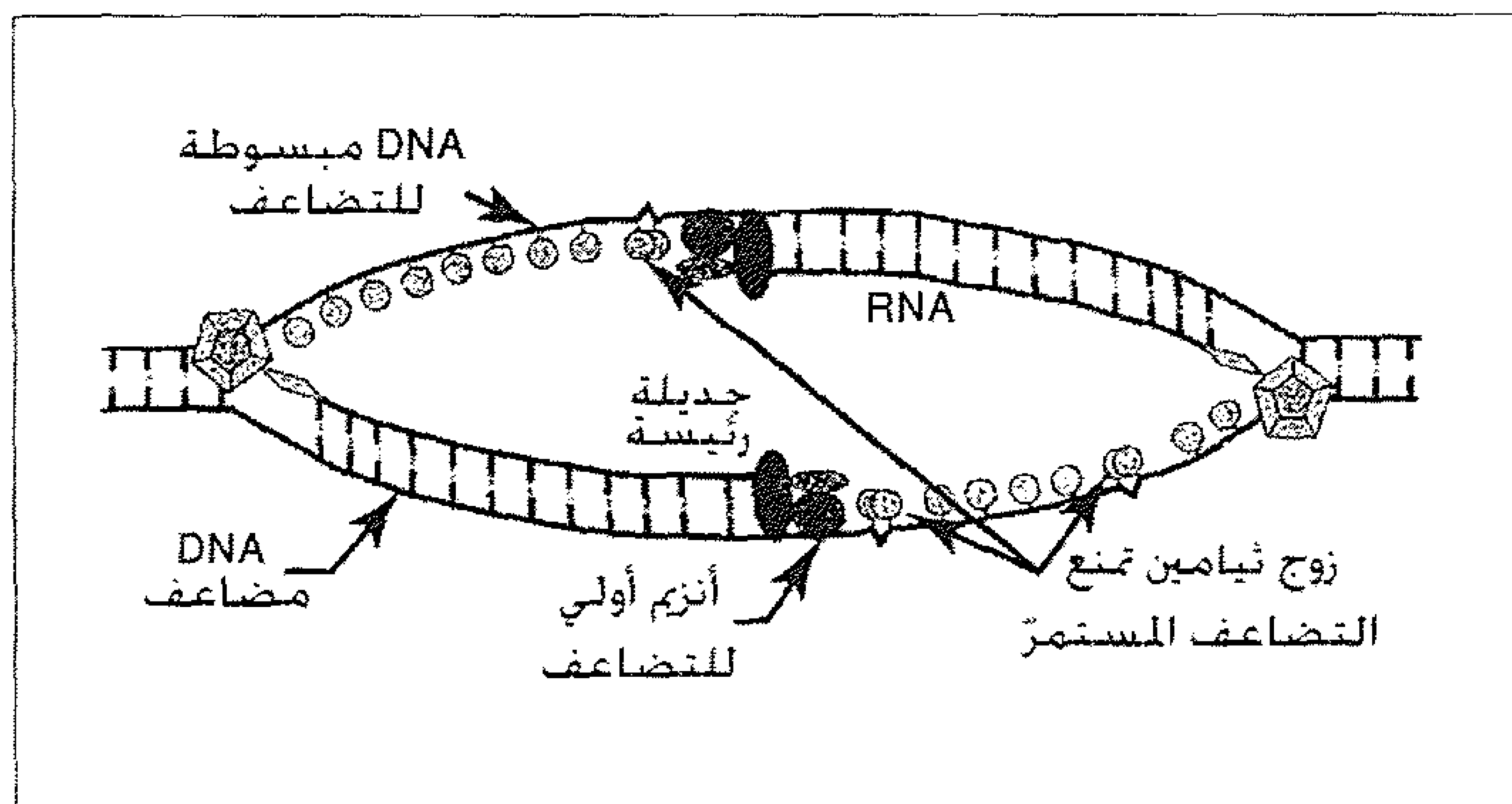
شكل 11-45: جزء من الطيف الكهرومغنطيسي من أشعة غاما عبر تحت الحمراء بالنانومتر. الحيز المبرز هو طيف (UV) الممتد من **100** إلى **400** نانومتر

أبدت القولونيات والشيجاليا بعض النشاط الضوئي، لكن الفيروسات لم تبد مثل هذا النشاط. تقاس فاعلية (UV) عبر استجابة العضويات لأشعة (UV) من خلال لوغاريتم قسمة عدد العضويات الحيّة على عدد العضويات بعد التعريض للأشعة

لوغاريتم التعطيل = $\log_{10}(N_o/N)$ **(36-11)**

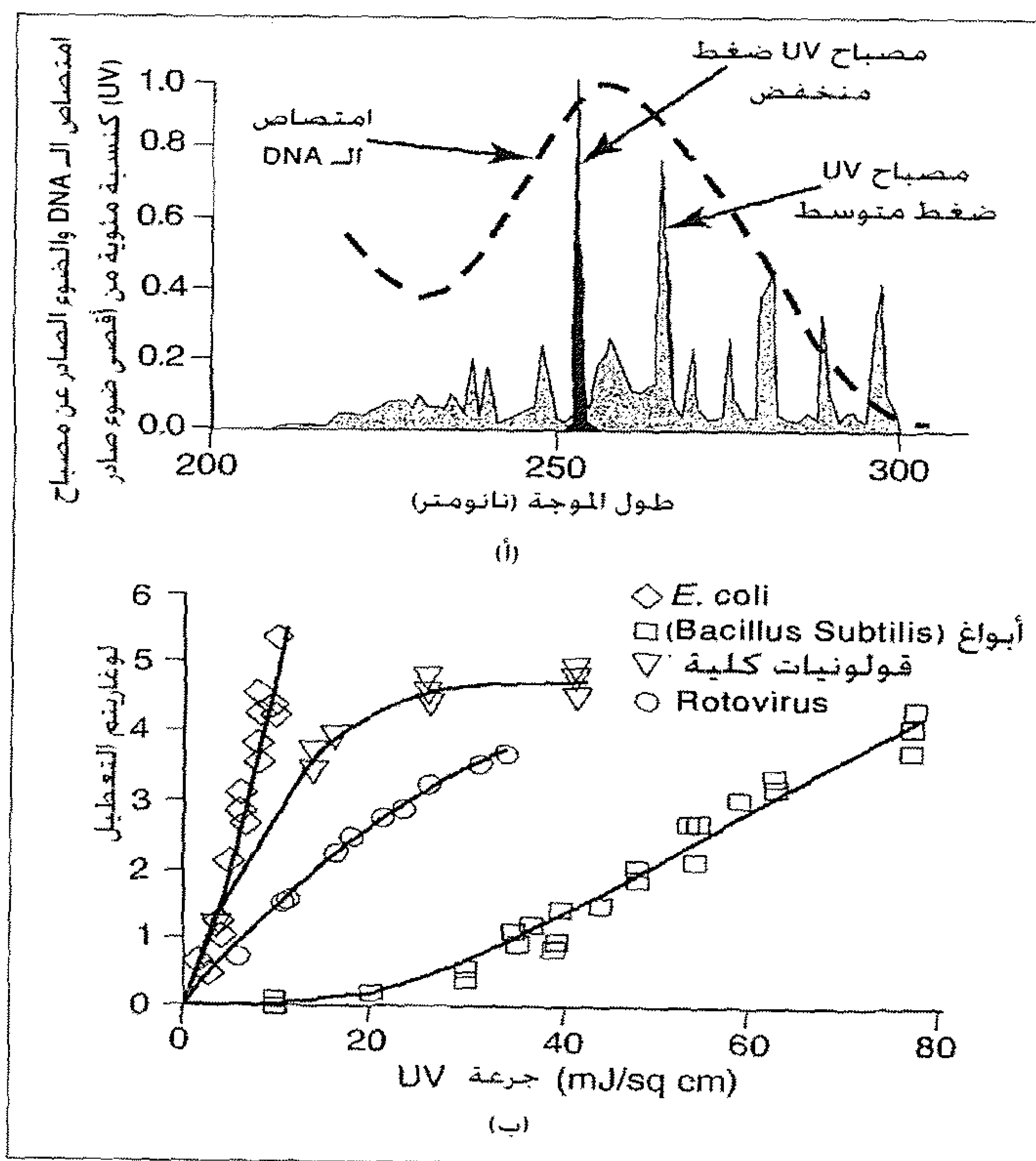
حيث N_o = تركيز الكائنات المتكاثرة قبل التعريض لأشعة (UV)

N = تركيز الكائنات المتكاثرة بعد التعريض للأشعة



شكل 11-46: مخطط يوضح تكاثر **DNA** معاق بواسطة ثيامين دايمر ناتج من أشعة **(UV)**. تبسط جداول **DNA** للتكاثر، تحجب الأنزيمات المُستخدمة في التضاعف عبر عدم تكمنها من إزالة الرابط الذي يربط الثيامين مع بعضها البعض.

مصابيح (UV) هي مصابيح زئبق تُصنع خصيصاً إما تحت ضغط منخفض أو ضغط عال. يبين الشكل (47-11 أ)، امتصاص DNA النسبي عند طول موجي لـ (UV) يقع بين 200 nm و300 nm. كما يظهر الشكل أيضاً جرعة (UV) لمصابيح الضغطين المنخفض والعالي عند الطول الموجي نفسه. إن المصابيح منخفضة الضغط ذات كفاءة سميّة أعلى، نظراً إلى أن كل الضوء الصادر عنها تقريباً يقع عند طول موجي عالي الامتصاص قدره 254 nm. وبسبب تخفيض متطلبات الطاقة، زيدَت أعمار المصابيح، غير أن الأمر يتطلب عدداً أكبر من المصابيح لتأمين جرعة (UV) محدّدة.



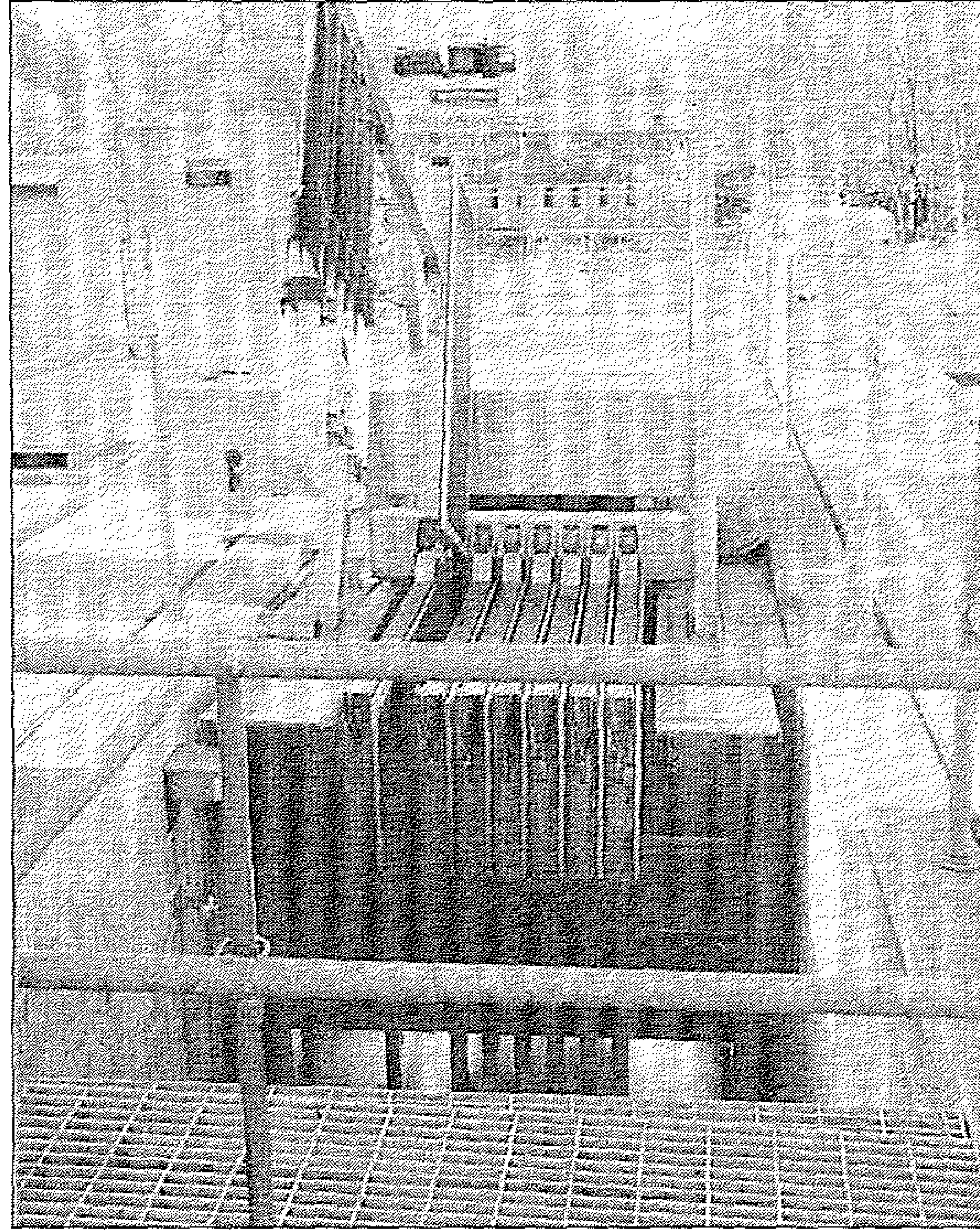
شكل 47-11 : تظهر الأشكال (أ) امتصاص الـ **DNA**. (ب) جرعات تعطيل بكتيريات مختلفة. تم رسم الضوء الصادر عن مصباح (UV) بأطوال أمواج منخفضة ومتوسطة الضغط مقابل امتصاص **DNA**، بهدف المقارنة المصابيح متوسطة الضغط أكثر كفاءة لكونها تغطي معظم مجال امتصاص الـ **DNA**. تشير استجابة جرعة (UV) (ب) إلى السهولة النسبية لتعطيل **E. coli** مقارنة بتعطيل الأبواغ الداخلية **(Bacillus Subtilis)**

تصدر المصابيح منخفضة الضغط أشعتها في مجال امتصاص DNA أعرض، ما يقلل بالتالي من عدد المصابيح، وانخفاض كلفة الطاقة الإجمالية لتحقيق الكفاءة السُمّية. غير أن درجات حرارة تشغيل أعلى تعجّل من تلف المصابيح. وتوجّه المصابيح عادةً على ذراع معلَّقٍ جانبياً أو على مجموعة متحرّكة تسمح بإبعادهما من أجل التنظيف والصيانة الإضافية.

تبدي عضويات مياه الصرف، كما هو موضّح في الشكل (11-47 ب)، استجابة مختلفة للتعريض[3]، تتراوح ما بين إيشيريشيا كولي E. coil إلى الأبواغ الداخلية للباكيلوس سوبتيليس (Bacillus Subtilis) التي يكون تعطيلها أكثر صعوبة. فتعطيل E. coli إلى مستوى تعطيل $4 \log_{10}$، يتطلب جرعة (UV) قدرها mj/sq cm 10، وعلى النقيض تتطلّب B. Subtilis جرعة قدرها 80 mj/sq cm، للوصول إلى مستوى تعطيل نفسه $4 \log_{10}$، إضافة إلى ذلك تختلف استجابة أنواع صرف محدّدة للجرعة، وذلك بسبب تدخل مركبات هذه المياه في فاعلية (UV).

يظهر الشكل 11-48 نظام تعقيم (UV) صغير، ذا ذراع من المصابيح، تم رفعه للتنظيف. تؤثِّر عوامل متعددة في كفاءة التعطيل. إذ تحجب كتل من العضويات المجهرية (كدرات) بعض العضويات عن جرعة (UV). تقوم بعض المركّبات كمركّبات العسرة (كالسيوم، مغنزيوم)، والقلويّة، والحديد والألمنيوم بتخريب الوجه الخارجي للمصابيح، كما تمتص المواد الصلبة الموجودة في المياه إشعاع (UV).

تعمل مصابيح الضغط المتوسط لدى درجات حرارة أعلى وهي أكثر عرضة لتكدّس التوضعات عليها أو للتعطل. وقد تتعطل المصابيح خلال ساعات أو تستمر بعملها لبضعة أسابيع. تتضمن أنظمة التنظيف مساحات لواقيات المصابيح ومحاليل كيميائية، بما فيها حمض السيتريك وحمض الفوسفوريك لإزالة المواد الملتصقة بالمصباح.



شكل 11-48: صورة لأداة تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية. ينتج التألق من مصابيح موجود في قناة التدفق الخارج. تم رفع أحد حوامل المصابيح بهدف التنظيف. يستخدم الهيبوكلوريت كمعقم بديل. (الصورة ملتقطة في محطة معالجة مياه الصرف بغرانت باس، أوريجون Wastewater Treatment Plant .in Grants Pass, Oregon)

قد تتكون المسّاحات الميكانيكية من فراشي من الفولاذ غير القابل للصدأ، مركّبة على أطواق أو حلقات تنظيف تتحرك على امتداد المصابيح. يختلف تواتر حركة المساحات، ولكن قد يصل إلى أربع مرات في الساعة. كما ينبغي اختبار أنظمة مصابيح (UV) ميدانياً، لتقدير فاعلية أنظمة التنظيف والاستجابة للجرعة وذلك تحديد حجومها وتصميمها النهائيين.

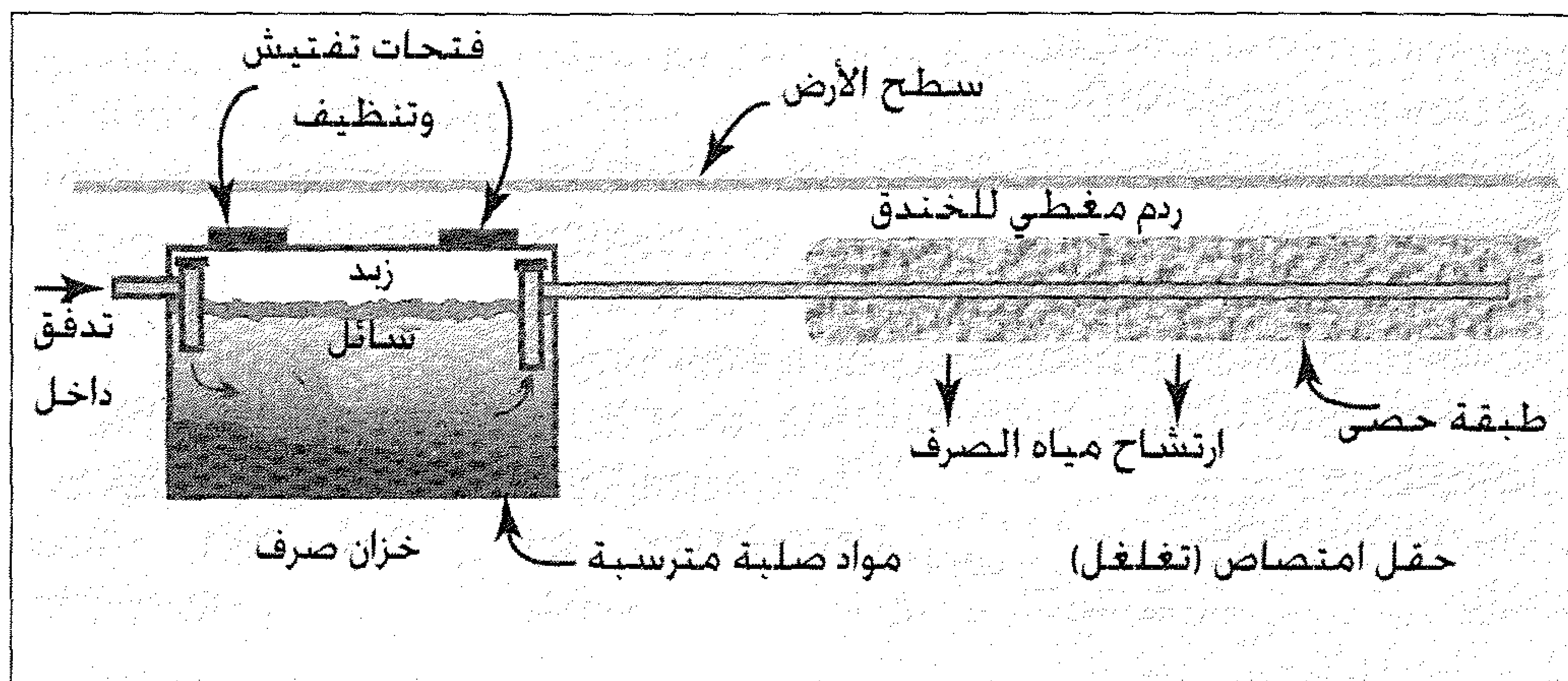
11-10 أنظمة طرح منزلية فردية

يقع ربع منازل الولايات المتحدة في مناطق غير متصلة بالمجارير وينبغي بالتالي أن تعتمد على معالجة فردية، وتبلغ كمية مياه الصرف بين 60 gpcd و100 gpcd،

بتراكيز BOD تتراوح بين 200 mg/l و400 mg/l. ويحدّد عدد الحمّامات، والغسالات الأتوماتيكية، وفرّامات القمامة، وكذلك عدد السكان، حجم وطبيعة مياه الصرف.

إن أكثر الأنظمة رواجاً في ذلك خزان الصرف وحقل الامتصاص، وذلك نظراً إلى انخفاض كلفتهما وللمزيّة المرغوبة المتمثلة بطرح التدفق النهائي تحت الأرض، (11-49). وخزان الصرف عبارة عن صندوق تحت الأرض من البيتون مصممَّ بحيث يؤمِّن زمن احتفاظ يبلغ يومين تقريباً. وبوجود فرّامة قمامة وغسالة أوتوماتيكيّة، فإنّ السعة الدنيا التي يوصى بها تبلغ 750 gal ($2.8\ m^3$) لمنزل ذي غرفتي نوم، و900 gal في حال وجود ثلاث غرف نوم، و1000 gal في حال بلغ عدد غرف النوم أربع غرف نوم، ويضاف 250 gal لكل غرفة نوم إضافية. ينبغي أن تكون فتحات التفتيش والتنظيف سهلة الوصول إلى أغراض الصيانة، ويتم ذلك عادةً بإزالة قدم واحد من الغطاء الترابي. تمنع وصلات أنابيب لها شكل حرف T موجودة على مدخل ومخرج الأنبوب من انسداد المصارف بالزبد العائم الذي يتراكم على سطح السائل. إن وظائف خزان الصرف هي ترسيب المواد الصلبة، وتعويم الشحوم، وتفكيك لاهوائي للمادة العضوية المتراكمة، وحفظ الحمأة. إن الاحتفاظ بمواد صلبة كبيرة الحجم أمر أساسيّ لمنع انسداد حقل التغلغل. يتكون حقل الامتصاص، حيث يحدث معظم الاستقرار الحيوي، من خنادق جانبية يتراوح عرضها من 18 in. إلى 24 in. وعمقها 18 in.، تشكّل حلقة، يُستخدم أنبوب صرف قرميديّ أو أنبوب مثقّب مُحاط بغلاف من الحصى لتوزيع مياه الصرف بشكل متجانس على قاع الخندق. تتفكك العضويات في البيئة الاختيارية الهوائية للطبقة، ويرشح الماء للأسفل إلى داخل بروفيل التربة. يدخل الهواء إلى أنبوب الصرف القرميدي من خلال الردم الذي يغطي الخنادق، ومن خلال التهوية التي تتم عبر أنبوب تنفيس شبكة تمديدات المنزل. تعتمد مساحة التغلغل الضرورية مباشرة على نفاذية التربة، وفي حالة المساكن ذات أربع غرف نوم فإن المساحة المطلوبة تتراوح بين 300 sq ft و1300 sq ft ($28\ m^2$ إلى $121\ m^2$). ويتم تقدير مساحة

الخندق لموقع محدّد بالاستكشاف السطحي للتربة واختبارات التغلغل. ولمعظم وكالات التحكّم البيئية ودوائر الصحة في المقاطعات دلائل إرشادية لتركيب مثل هذه الإنشاءات تستند إلى الظروف المحلية.



شكل 11-49: خزان صرف نموذجي لطرح مياه صرف منزلية. يؤمّن الخزان الترسيب، وتراكم الزبد، وهضم لاهوائي، وتحطيم المادة العضويّة، وحفظ الحمأة. يسمح حقل الامتصاص بتفكيك اختياري هوائي للمواد العضوية وارتشاح مياه الصرف

وتتعلق معظم الشكاوى المتكررة حول تشغيل خزان الصرف – وحقل الامتصاص بانسداد شبكة الأنابيب وتسرب الرائحة الكريهة عبر سطح الأرض. يُملأ الخزان بمواد صلبة غير قابلة للتحلّل الحيويّ، وينبغي ضخها خارجاً كل بضعة سنوات. وعند تنظيفها، يضمن ترك كمية قليلة من الحمأة الهاضمة سوداء اللون في الخزان، وجود بذور باكتيرية مناسبة لمتابعة هضم المواد الصلبة. لم تظهر إضافة مكيفات كيميائية أو أنزيمية أيّ قيمة معتبرة في إنعاش النشاط البكتيري أو زيادته في خزان صرف.

11-11 خصائص وكميات حمآت الصرف

إن الهدف من ترسيب مياه الصرف والتهوية الحيوية هو إزالة المادة العضوية وتركيزها في حجم أصغر بكثير لتسهيل التعامل معها وطرحها. وكما هو موضّح

في الشكل 11-1، فإنّ مواد صلبة قدرها نصف لتر لـــكل شخص، تصل إلى حوالى 0.6 gal من الحمأة الكلية أو حوالى 5000 gal حمأة لكل 1.0 mgd ($5m^3$ لكل m^3 1000) من مياه الصرف المعالجة. تصل كلفة مرافق الاستقرار، ونزع الماء، وطرح مثل هذه الركازة، إلى حوالى ثلث الاستثمار الكلّي في محطة صرف. وقد تصل تكاليف تشغيل التعامل مع الحمأة حتى إلى جزء أكبر من التكاليف الكليّة لتشغيل المحطة، وذلك تبعاً للنظام المُستخدم. ولهذه الأسباب فإن نظام طرح حمأة مصمَّم بشكل صحيح ويعمل بكفاءة أمر جوهريّ.

تتعلق كمية وطبيعة الحمأة الناتجة بطبيعة مياه الصرف الخام، وبوحدات المعالجة المُستخدمة. ينتج الترسيب الأولي حمأةً لاهوائية مكوَّنة من عضويات خام تعمل البكتيريا على تفككيها بنشاط. ولذلك، ينبغي التعامل مع هذه المواد الصلبة بشكل صحيح لمنع إصدار روائح كريهة. وبالمقارنة بالنفايات الحيوية الثانوية، فإن الحمآت الأولية تُثخَّن ويُنزح ماؤها بسهولة بسبب طبيعتها الليفية والخشنة. يمكن استخدام المعادلة الآتية لتقدير المواد الصلبة الخام التي تُزال بواسطة ترسيب بسيط:

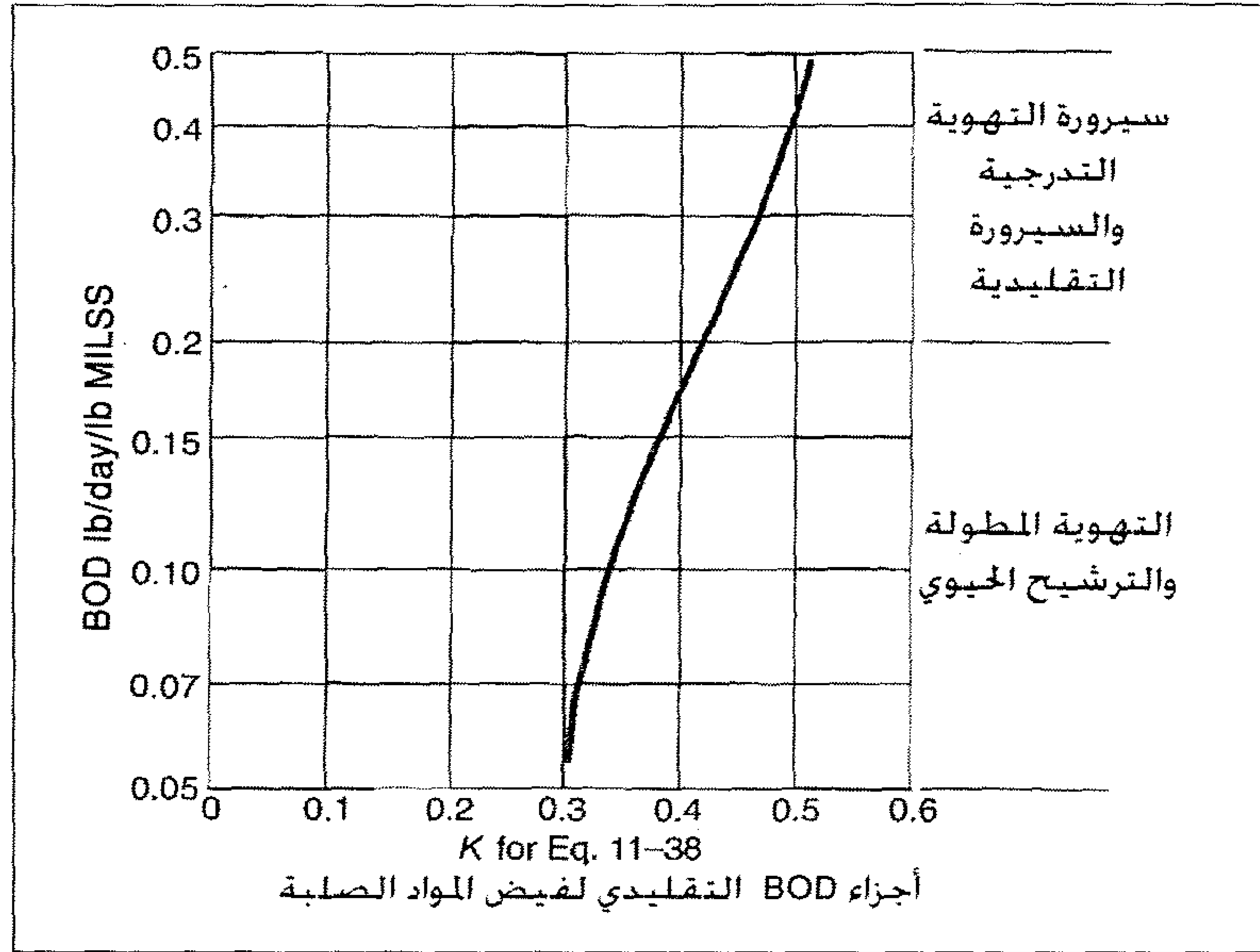
$$W_p = f \cdot SS \qquad \textbf{(37-11)}$$

حيث

W_p = المواد الصلبة في الحمأة الأولية الخام، باوندات من الوزن الجاف في اليوم (غرامات باليوم)

f = جزء المادة الصلبة المزال بالترسيب الأولي (تبلغ f حوالى 0.5 لمياه الصرف المحليّة)

SS = SS من مياه صرف غير مرسبة. (باوندات باليوم) (غرامات/باليوم)، تركيز المواد الصلبة المعلّقة في مياه الصرف غير المرسبة مقدراً بـــ mg/l مضروباً بانسياب مياه الصرف مقدراً بـــ mil gal/day مضروباً بـــ 8.34 lb mgd per mg/l (تركيز المواد الصلبة المعلّقة مقدراً بـــ mg/l مضروباً بالانسياب مقدراً بـــ m^3/d).



شكل 11-50 : العلاقة الافتراضية بين نسبة (F/M)، ومعامل k في المعادلة 11-38 لحساب فائض إنتاج الحمأة المنشطة في التهوية الحيوية لمياه الصرف، اعتماداً على كمية للمواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج تبلغ 30 mg/l تقريباً

إن النفاية القادمة من التهوية هي ناميات مكروبيّة متكدّرة مع مواد صلبة غروية ومعلّقة غير قابلة للتحلّل الحيوي، سُحبت معها. وهي نسبياً بلا رائحة نتيجة الأكسدة الحيويّة، ولكن الجسيمات المفتتة الناعمة والمبعثرة تجعل من الصعب نزع الماء منها. ويمكن تقدير فائض المواد الصلبة في الحمأة المنشطة الناتجة من عملية التهوية وكذلك في الدبال الناتج من عملية الترشيح، بواسطة المعادلة 11-38 والتي تربط ما بين إنتاج المواد الصلبة مع حمولة الـ BOD. تعتمد قيمة الثابت k على عملية نسبة (F/M) الموضحة في الشكل 11-50.

وبالرغم من أن هذه الصيغة مسؤولة عن مياه الصرف المحليّ، فإن القيم المحسوبة قد تختلف بشكل كبير عن نتاج الحمأة الفعلي، وذلك عند معالجة طرح صرف المدينة والحاوي على جزء فعليّ وملموس من مياه الصرف الصناعيّ أو مياه الصرف الناتجة من معالجة الأغذية.

$$W_s = k \cdot BOD \quad (38\text{-}11)$$

حيث

W_s= المواد الصلبة في الحمأة الحيوية، باوندات في اليوم من الوزن الجاف (غرامات باليوم)

k = جزء الـــ BOD المستعمل والذي يظهر فائض المواد الصلبة الحيوية من الشكل بافتراض وجود 30 mg/l تقريباً من المواد الصلبة المعلّقة في التدفق الخارج من المحطة

BOD = كمية BOD في مياه الصرف المستعملة بعد الترسيب الأولي، باوندات في اليوم من الوزن الجاف (غرامات باليوم)

يساوي إنتاج المواد الصلبة الكلية في الحمأة في محطة معالجة تقليدية مع ترسيب أولي وتهوية ثانوية مجموع القيم المحسوبة بواسطة المعادلتين 11-37 و11-38.

$$W_{ps}= W_p + W_s \quad (39\text{-}11)$$

حيث

W_{ps} = المواد الصلبة الكلية في الحمأة الناتجة عن ترسيب أولي وتهوية حيوية ثانوية

سيكون إنتاج المواد الصلبة الكلّية لنظام حمأة منشطة يعالج مياه صرف غير مرسبة، مثل تهوية موسعة من دون ترسيب أولي، أقل من W_{ps} من المعادلة 11-38. ويمكن تقدير كميّة المواد الصلبة المنتجة اعتماداً على الـــ BOD في التدفق الداخل لمياه صرف غير مرسبة، وإهمال المواد الصلبة المعلّقة، وذلك عبر زيادة القيمة المقدرة من الشكل 11-50 بنسبة 100%. وعلى ذلك ستكون أنظمة التهوية من دون مروّقات أولية كالآتي:

$$W_{as}= 2.0 \cdot K \cdot BOD \quad (40\text{-}11)$$

W_{as} = المواد الصلبة الحيوية في الحمأة من معالجة حمأة منشطة من دون ترسيب أولي، باوندات في اليوم من الوزن الجاف (غرامات باليوم)

K = قيمة من الشكل 11-50

BOD = كمية BOD في التدفق الداخل من دون ترسيب أولي، باوندات في اليوم من الوزن الجاف (غرامات باليوم)

يعتمد تصميم وتشغيل نظام طرح الحمأة على حجم الحمأة الرطبة، وكذلك على محتوى المواد الصلبة الجافة. وبتقدير الوزن الجاف للمواد الصلبة، فإنه يمكن حساب حجم الحمأة الرطبة باستخدام المعادلة 11-41، وذلك إما بمعرفة النسبة المئوية للمواد الصلبة، أو محتوى الماء. وتفترض هذه المعادلة جاذبية نوعية للحمأة الرطبة قدرها 1.0، والتي تعتبر دقيقة إلى حد كاف لإجراء الحسابات العادية. فمثلاً تبلغ الثقالة النوعية لروبة ذات محتوى من المواد العضوية يبلغ 10%، جاذبية نوعية قدرها 1.02.

حيث

$$V = \frac{W}{\left(\frac{S}{100}\right) \cdot 8.34} = \frac{W}{\left(\frac{100-P}{100}\right) \cdot 8.34} \text{ (SI)} \qquad \textbf{(41-11)}$$

V = حجم الحمأة الرطبة، غالونات

W = وزن المواد الصلبة الجافة، باوندات

s = محتوى المواد الصلبة، نسبة مئوية

P = محتوى الماء، نسبة مئوية

وتكون المعادلة في الجملة المترية

$$V = \frac{W}{\left(\frac{S}{100}\right)} = \frac{W}{\left(\frac{100-P}{100}\right)} \qquad \textbf{(42-11)}$$

حيث

V = حجم الحمأة الرطبة، لترات

W = وزن المواد الصلبة الجافة، كيلوغرامات

إن تراكيز المواد الصلبة والنموذجية في حمأة الصرف الخام هي حمأة أولية فقط بنسبة 4% إلى 6%، حمأة أولية مع دبال من الترشيح الثانوي بنسبة 4% إلى 5%، حمأة صرف منشطة أولية ومثخّنة قادمة من التهوية الثانوية بنسبة 4% إلى 5%، وحمأة صرف منشطة غير مثخّنة بنسبة 0.5% إلى 1.5% فقط. وفي كل هذه الأنواع من الصرف تكون النسبة المئوية للمواد الصلبة الطيّارة حوالى 70% من المواد الصلبة الجافة الكلية. ولكمية محدّدة أو معطاة من المواد الصلبة الجافة فإن التركيز المئوي يؤثّر في حجم الحمأة بشكل كبير. إن مضاعفة تركيز المواد الصلبة يختزل الحجم الرطب إلى النصف، وعلى العكس ستتضاعف الكمية إذا خُفِّفت الروبة إلى نصف النسبة المئوية الأولية للمواد الصلبة فيها. فعلى سبيل المثال، وباستخدام المعادلة 11-41، فإن حجم الحمأة الرطبة الحاوية على 10 lb من المواد الصلبة الجافة بنسبة 2% يساوي 60 gal، فإن ثُخِّنت إلى نسبة 4% من المواد الصلبة، يصبح الحجم 30 gal، ورَفع التركيز إلى 8% سينقص الحجم إلى 15 gal. وبحفظ هذه الفكرة في الذهن، يغدو من السهل فهم سبب صعوبة معالجة الحمآت الثانوية المخفَّفة والتعامل معها مقارنة بمعالجة الصرف الأولي.

مثال 11-14

تعالج مياه صرف محلية تحوي 200 mg/l من الـ BOD و220 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة في محطة معالجة ذات مرشح تقطري. (أ) باستخدام المعادلات 11-37 و11-38، احسب كميات المواد الصلبة في الحمأة القادمة من الترسيب الأولي وترشيح حيوي ثانوي لكل مليون غالون من مياه الصرف المعالجة. (ب) كم باوند من المواد الصلبة الجافة ينتج بالنسبة إلى حمولة عدد السكان المكافئ للـ BOD على المحطة؟ كم يبلغ حجم الحمأة الرطبة لكل مليون غالون من مياه الصرف إذا كان الارتشاح السفلي من المروّقات يعيد دبال المرشح

إلى التدفق الداخل إلى المحطة وإذا كانت الحمأة المشتركة التي يتم سحبها من التدفّقات الأولية ذات محتوى من المواد الصلبة يبلغ 5%؟

الحل

(أ) بافتراض أن تخفيض المواد الصلبة المعلّقة كان 50% وذلك عبر ترسيب مياه الصرف الخام، وبالتعويض في المعادلة 11-37:

$W_p = 0.5 \cdot 220 \cdot 1.0 \cdot 8.34 = 917$ lb مواد صلبة / mil gal

من المعادلة 11-38، بافتراض أن إزالة الـــ BOD كانت 35% في التدفق الأولي، وقيمة K تساوي 0.34 من الشكل 11-50

$W_s = 0.5 \cdot 220 \cdot 1.0 \cdot 8.34$

$W_s = 0.34 \cdot 0.65 \cdot 200 \cdot 1.0 \cdot 8.34 = 369$ lb مواد صلبة / mil gal

(ب) لـــ 1.0 mgd بتركيز BOD قدره 200 mg/l

فإنّ عدد السكان المكافئ للـــ BOD:

$$\frac{1.0 \cdot 200 \cdot 8.34}{0.2} = 8340 \text{ فرد}$$

إنتاج الحمأة لكل فرد:

$$\frac{W_p + W_s}{\text{عدد السكان}} = \frac{917 + 369}{8340} = 0.15 \text{ lb مواد صلبة/فرد}$$

(ملاحظة: تُستخدم غالباً القيمة 0.20 باوند مواد صلبة للفرد باليوم، لتقدير متحفظ لإنتاج المواد الصلبة لمحطات مرشح تقطري تعالج مياه صرف محلية).

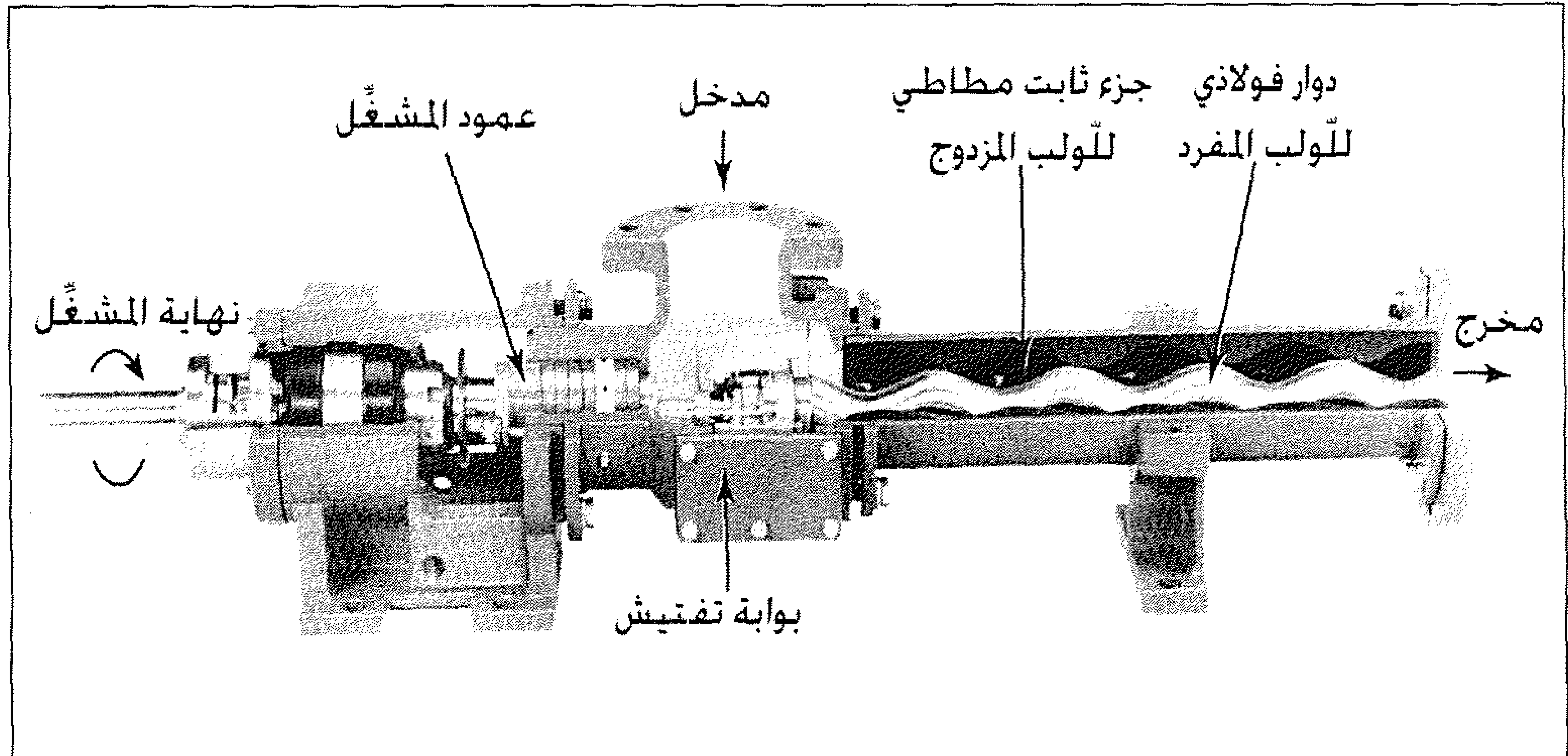
(ج) وبالتعويض في المعادلة 11-41 بقيمة $W_p + W_s$ نحصل على

$$V = \frac{917 + 369}{\left(\frac{0.5}{100}\right) 8340} = 3080 \frac{\text{gal حمأة}}{\text{mil gal مياه صرف}}$$

12-11 مضخات الحمأة

إن الحمآت عالية اللزوجة، حمآت أولية ومزيج من حمآت أولية وحمآت مُنَشِّطة، وزبد من المروّقات، وحمآت خام وأخرى مهضومة تم تثخينها، بالثقالة، وبالتعويم، وبالقوة النابذة. تسمح الإزاحة الجانبية بقياس كميات الحمأة التي يتم ضخها بالنسبة إلى الزمن. كما إن المواد الصلبة الثقيلة يمكن أن تُحرَّك أيضاً بمعدلات بطيئة بدون أن تسد حجرات المضخة.

يظهر الشكل 11-51 محطة ضخ حمأة مُثخّنة في المروّق الأولي. إن مضخات التكهّف المتقدم، ومضخات إزاحة إيجابية تُصرّف بمعدل انسياب متجانس، يظهر الشكل 11-51 مقطعاً مفتوحاً لها. إن الحجرة عبارة عن جزء ثابت من المطّاط المقاوم للتآكل مزوَّد بفتحة للولب مزدوج. والعنصر المتحرّك هو دوّار لولبيّ مفرد من الفولاذ يدور بواسطة محرّك كهربائي. وعندما يدور الدوّار اللولبي المفرد ضمن الجزء الثابت من اللولب المزدوج، تتشكل تكهفات تُملأ بالحمأة وتتقدم إلى الأمام باتجاه نهاية المخرج. وتقوم مستشعرات ضغط عال موجودة عند مصرف المضخة بإيقاف المضخة فوراً لتجنب تلف المحطة وشبكة الأنابيب.



شكل 11-51: مقطع مفتوح لمضخة تكهف متقدم تُستخدم لضخ الحمأة. (موافقة من: Moyno® is a registered trademark of Robbins & Myers.Inc.)

فقد علوّ ضخ الحمأة

تستند حسابات هازن – وليامز لفقد العلوّ إلى سائل موجود في حالة انسياب مضطرب (ارجع إلى الفقرة 4-3). ومع زيادة المواد الصلبة في الحمأة، فإن السائل يصبح أثخن بشكل متزايد، وتغيّر خصائص السائل وزيادة سرعته أمران مطلوبان لتغيير انسيابه من خطيّ إلى مضطرب. وفي انسياب الماء، تُستخدم سرعات تتراوح من 5 ft/sec إلى 6 ft/sec كقيمة متوازنة اقتصادياً بين حجم الأنبوب وفقد العلوّ. ولمنع الانسداد ولسهولة التنظيف، نادراً ما يُنتقى حجم خطوط الحمأة دون 6 in. (150 mm)، والسرَع دون 2 ft/sec هي السرع الشائعة.

يتم حساب عدد رينولدز (Reynolds number) للانسياب المضطرب باستخدام المعادلة 11-43، وللانسياب الخطي باستخدام المعادلة 11-44. والقيم هامة جداً لتقدير حدوث تدرّج سرعي كاف لتجزئة الانسياب وخلق انسياب مضطرب. ويعتبر عموماً الانسياب مضطرباً إن كان Re > 4000 وخطياً إن كان Re < 2300. ويعتبر الانسياب انتقالياً عندما تكون قيمة Re بين هاتين القيمتين.

$$R_e = \frac{d.V.\rho}{12\,\eta} \qquad \textbf{(43-11)}$$

حيث

R_e = عدد رينولدز، بلا وحدة

d = قطر الأنبوب بالإنش

v = سرعة السائل، ft/sec

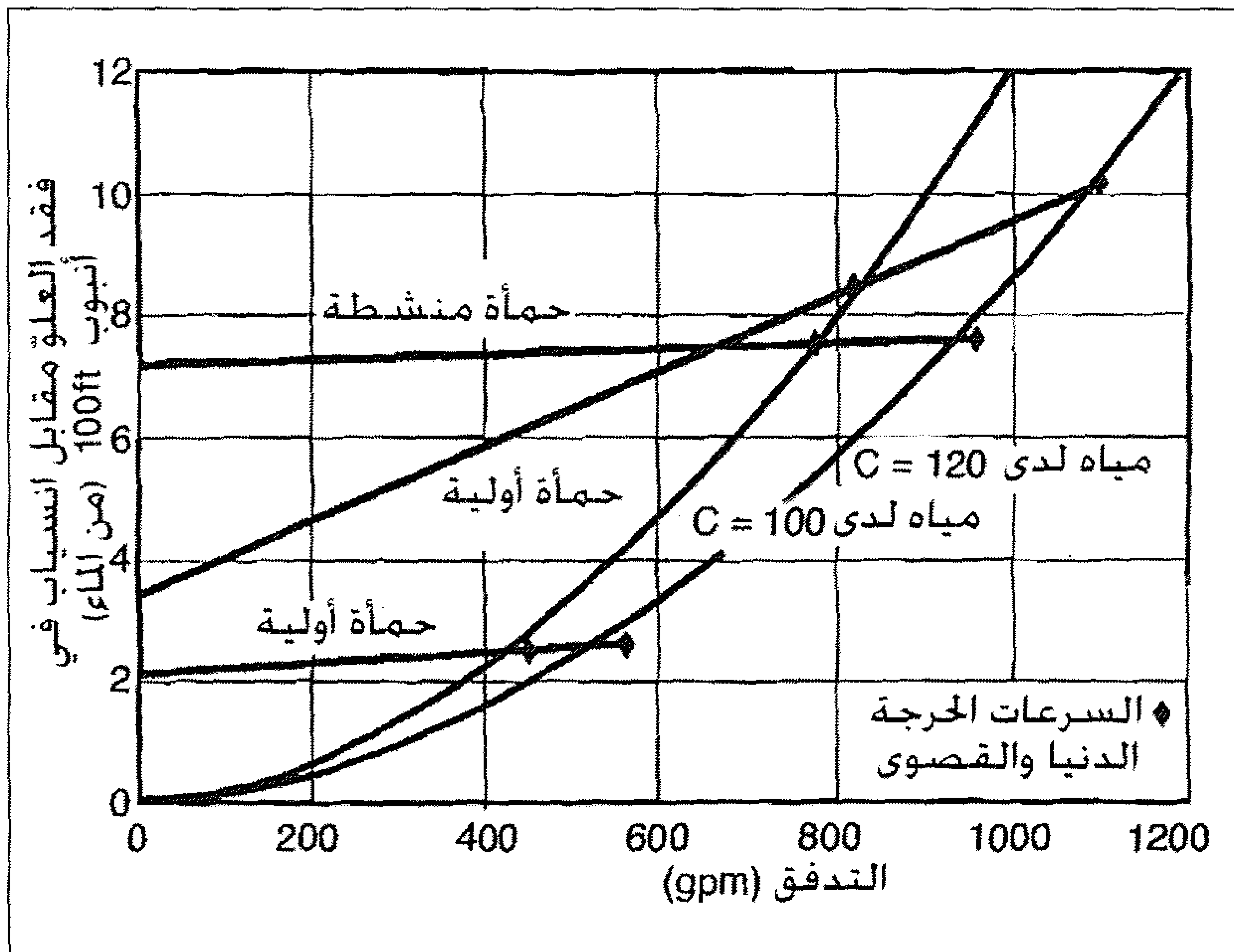
ρ = الكثافة، lb/cu ft

η = لزوجة السائل، lb/ft-sec

$$R_e = \frac{3\,(d/12).v^2.\,\rho}{3\,.\eta.+16(d/12)\,S_y} \qquad \textbf{(44-11)}$$

حيث أدرجت الوحدات في المعادلة 11-45

يقدم الشكل 11-52 مقارنة ما بين فقد علوّ الماء وفقد علوّ حمأة صرف منشطة متخّنة أوليّة ومهضومة. ونظراً إلى تمتع الماء بجهد قص قدره صفر، فإنّها تتساب لدى أدنى كمية من الطاقة. لكن الحمأة لا تنساب إلا إذا خضعت لعتبة كمية معينة من الضغط أو محصلة إجهاد. ويختلف هذا الإجهاد باختلاف الحمآت نظراً إلى الاختلافات في المواد الصلبة الموجودة في كل حمأة. وحتى عندما تتحرك الحمأة، فإن كمية الطاقة المطلوبة أكبر من تلك المطلوبة للمياه والمحدّدة بمعامل الصلابة. وتميل الحمأة المهضومة لأن تكون أسهل ضخّاً نظراً إلى كون المواد الصلبة فيها أقل كمية وأقل التصاقاً. تحتوي الحمأة الأولية على تركيز عال من المواد الخيطية والتي تبقى صعبة الضخ حتى تحت سرعات عالية. أما حمآت الصرف المنشّطة فهي أصعب الحمآت ضخّاً نظراً إلى أن شعر الخلايا (بيلي) والبوليميرات، تربط العضويات ببعضها البعض على شكل كدرة شبه صلبة مقاومة تحوّل الانسياب إلى انسياب مضطرب.



شكل 11-52: فقد العلوّ مقابل انسياب لأنبوب 100 قد بقطر .6 in . رسمت المنحنيات لحمأة منشطة، لحمآت مهضومة أولية لدى 3.5%، للمياه لدى C = 100 ومياه لدى C = 120 من دون أيّ مواد صلبة

إن نموذج بينجهام (Bingham) اللدن منبئ جيد لفقد علوّ الحمأة في الانسياب الخطي. ويمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي:

$$H/L = \frac{16\,S_y}{3wd/12} + \frac{\eta v}{w(d/12)(d/12)^2} \qquad (45\text{-}11)$$

حيث:

d = قطر الأنبوب بالإنش

S_y = جهد القص عند نقطة المحصلة حيث تبدأ بالانسياب، باوندات بالقدم المربع

η = معامل الصلابة، باوندات بالقدم بالثانية

H = فقد العلوّ مقاس بالقدم لارتفاع الماء

L = طول الأنبوب، بالقدم

v = متوسط السرعة، بالقدم بالثانية

w = وزن الماء، 64.4 lb/cu ft

تستخدم معادلة هازن–ويليمز عندما يكون الانسياب مضطرباً. ويمكن للسرعة أن تحصر بين المعادلتين التاليتين للسرعتين الحرجتين الدنيا والعليا عندما تصبح الحمأة مضطربة

$$V_{lc} = \frac{1000\eta + 103\sqrt{94\eta^2 + (d/12)^2 S_y\rho}}{(d/12)\rho} \qquad (46\text{-}11)$$

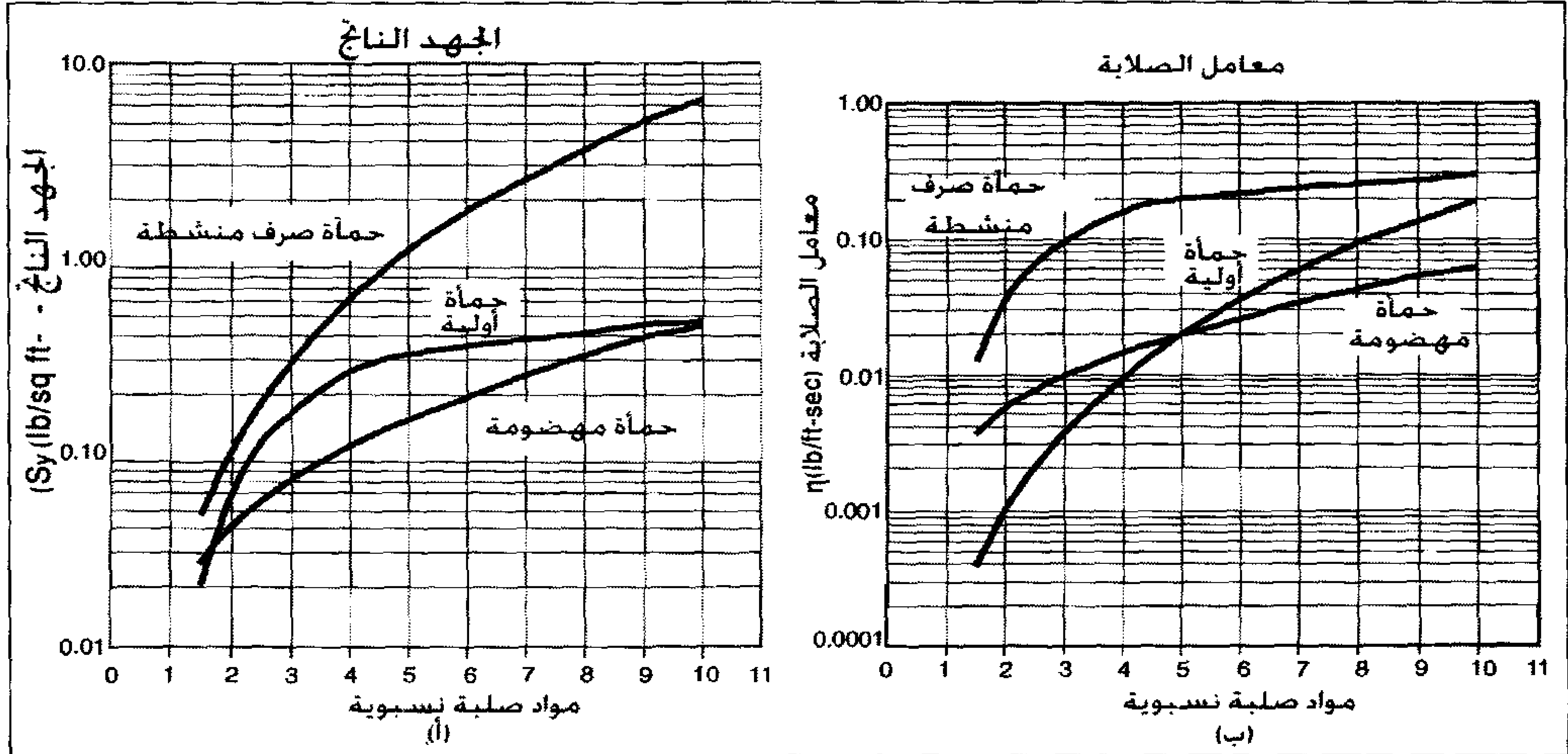
$$V_{uc} = \frac{1500\eta + 127\sqrt{140\eta^2 + (d/12)^2 S_y\rho}}{(d/12)\rho} \qquad (47\text{-}11)$$

V_{lc} = السرعة الحرجة الدنيا، بالقدم بالثانية

V_{uc} = السرعة الحرجة العليا، بالقدم بالثانية

ρ = كثافة الحمأة، = W وزن الماء، باوندات بالقدم المكعب

تم رسم قيم كل من الجهد الناتج إضافة إلى معامل الصلابة مقابل تركيز المواد الصلبة في الحمأة في الشكلين (11-53 أ) و(11-53 ب) على التوالي. وقد رُسمت الخطوط التي تمثّل القيم النظرية للحمآت الأولية الخام، والحمآت المهضومة وحمأة الصرف النشيطة المثخّنة.



الشكل 11-53: معاملات حساب فقد على الحمآت لدى تراكيز مختلفة للمواد الصلبة فيها. (أ) قيم الجهد الناتج. (ب) قيم معامل الصلابة

وقد يمكن تقدير فقد العلوّ في التوصيلات، وذلك بتعويض الطول المكافئ لأنبوب مستقيم أو معامل فقد السرعة K. والقيم المبينة في الجدول 4-1 لا تناسب الانسياب الخطّي. ويتطلب الأمر صمام K ثان هو (K_1) لحساب الفقودات خلال الانسياب الخطي، ارجع إلى الجدول 11-7. تُستخدم القيم في المعادلتين 11-44 و-48 11 لحساب فقد العلوّ للانسياب الخطي للحمأة.

$$K = K_1/R_e + K_\infty (1 + \quad) \qquad \textbf{(48-11)}$$

حيث

d = قطر الأنبوب بالإنش

K_1 و K_∞ = مدرجتان في الجدول 11-7

مثال 11-15

يتطلب الأمر إعادة تدوير حمأة قدره 150 gpm لتسخين هاضم. ويبلغ متوسط تراكيز الحمأة المهضومة 3.5%. احسب فقد علوّ الأنابيب في أنبوب طوله 1000 ft وقطره .6 in. تحتوي الأنابيب على التوصيلات الآتية: صمام قطع واحد، عشرة أكواع 90°، و4 وصلات على شكل T، و5 صمامات سادّة. احسب فقد العلوّ الناتج من التوصيلات.

الجدول 11-7: قيم K_1، K_∞ باستخدام طريقة Two-K في حساب فقد العلو أثناء التوصيل

		نمط التوصيل	K_1	K_∞
أكواع	90°	قياسي (R/D = 1)، محلزن	800	0.40
		قياسي (R/D = 1)، ذو حافة	800	0.25
		قطر طويل (R/D = 1.5)، الكل	800	0.20
	45°	قياسي (R/D = 1)، الكل	500	0.20
		قطر طويل (R/D = 1.5)، الكل	500	0.15
	180°	قياسي (R/D = 1)، محلزن	1000	0.60
		قياسي (R/D = 1)، ذو حافة	1000	0.35
		قطر طويل (R/D = 1.5)، الكل	1000	0.30
وصلات	تستخدم	قياسي، محلزن	500	0.70
		قطر طويل، محلزن	800	0.40
		قياسي، ذو حافة بارزة أو ملحوم	800	0.80
		متشعب من الجذع الأساسيّ	1000	1.00
	انسياب	قياسي، محلزن	200	0.50
		قياسي، ذو حافة بارزة أو ملحوم	150	0.10

		متشعب من الجذع الأساسيّ	100	0.00
صمام	بوابة	حجم خطّ كامل، 100%	300	0.10
	كرة	قطع مقصرة، 90%، مفتوح	500	0.15
	سادّ	قطع مقصرة، 80%، مفتوح	1000	0.25
		رفع	2000	10.0
	قاطع	هزّاز	1500	1.50
		قرص ميّال	1000	0.50
	كروي،		1500	4.00
	كروي،		1000	2.00
	حاجزي،		1000	2.00
	دوار		800	0.25
داخل	مدخل		160	0.5
خارج	مخرج		0	1.0

الحل

باستخدام الشكل 11-53 وتركيز حمأة مهضومة قدره 3.5%، فإن $S_y = 0.10$، $\eta = 0.012$، و$\rho = 64.4$. وتبلغ السرعة 1.69 ft/sec في أنبوب قطره 6 in.

(أ) تحقق من أن الانسياب خطي باستخدام المعادلتين 11-46 و11-47

$$V_{lc} = \frac{(1000 \cdot 0.012) + 103\sqrt{94(0.012)^2 + 0.5^2(0.10)64.4}}{0.5 \cdot 64.4}$$

$= 4.4$ ft/sec

$$V_{uc} = \frac{(1500 \cdot 0.012) + 127\sqrt{140(0.012)^2 + 0.5^2(0.10)64.4}}{0.5 \cdot 64.4}$$

$= 5.6$ ft/sec

(ب) احسب فقد العلوّ الخطي باستخدام المعادلة 11-45

$$H/1000 = \frac{16 \cdot 0.10}{3 \cdot 64.4\ 0.5} + \frac{0.012 \cdot 1.69}{64.4\ 0.5^2}$$

= ft water/ft 0.018

H = 18 قدم ماء

ملاحظة إن استخدام معادلة هازن – وليامز 4-8 كان بإمكانه توقع النتيجة الآتية:

$$h_L = 0.002083\ (1000)\ \left(\frac{100}{100}\right)^{1.85} \left(\frac{150^{1.85}}{64.8655}\right)$$

= ft 3.6 مياه

أو ما يعادل خمسة أمثال أقل من فقد علوّ الحمأة. ومجموع كل من K_1 وK_∞ للتوصيلات المدرجة في الجدول الآتي يساويان:

K_∞	K_1	عدد	
1.5	1500	1	صمام قطع
2.5	8000	10	أكواع 90°
3.2	3200	4	وصلات T
1.25	5000	5	صمام سادّ
8.45	17700		

$$R_e = \frac{3 \cdot (6/12) \cdot (1.69)^2 \cdot 64.4}{3 \cdot 0.012 + 16(6/12)0.10} = \frac{276}{0.036+0.8}$$

$R_e = 330$ (< 2300 انسياب خطي)

K =17700/330 + 8.45 (1+ 1/6) = 54 = 10 = 64

$$K\frac{v^2}{2 \cdot g} = 64\ \frac{(1.69)^2}{64.4} = 3ft$$ = H_f توصيلات

13-11 تثخين الحمأة

يُستخدم تثخين الحمأة لزيادة المواد الصلبة فيها بنسبة 4% على الأقل ولتخفيف الحجم المطلوب للهضم اللاهوائي. والحمأة الثانوية الهوائية بنسبة 0.5% إلى 2% مناسبة للهضم الهوائي ولكن تركيزها خفيف للهضم اللاهوائي. يمكن إزالة المواد الصلبة الأولية من المروّقات الأولية بمعدلات عالية لمنع حملها إلى خزّان منفصل وتثخّنها فيه. ويمكن لكثير من النباتات أن تساهم في تثخين المواد الأولية والثانوية، وغالباً ما يكون ذلك مترافقاً مع نتائج مختلطة. يستخدم التثخين بالثقالة للمواد الصلبة القادمة من المرشحات الأولية والتقطرية، وغالباً ما يتم ذلك بدون إضافة مواد كيميائية، ولكن قد يضاف كلوريد الحديديك لتخفيف الرائحة وتحسين الترسيب. يستخدم التثخين الميكانيكي عادةً للحمآت المنشطة مع إضافة بوليميرات لتحسين التكدّر والتثخن.

تثخين الحمأة بالثقالة

يتم التثخين بالثقالة في خزّانات ترسيب دائرية مجهّزة بأذرع كاشطة ذات أوتاد ارتكاز شاقولية. يتم إخضاع الحمأة التي يتم سحبها من المروّقات الأولية أو خزّانات مزج الحمأة، إلى تثخين جاذبي وذلك عبر حفرة دخول مركزية. يُعاد فائض الانسياب الحاوي على الجزء غير المترسب إلى مقدمة المحطة للمعالجة، كما يتم سحب الحمأة المثخنة من قاع الخزان. وتكون حمولات الوحدة عادةً في مجال 6lb إلى 12lb من المواد الصلبة بقدم مربع من قاع الخزان في اليوم (30 kg/m^2 . d) إلى ($60\ kg/m^2$. d). يمكن إضافة كلوريد الحديديك لتخفيف تشكُّل كبريتيد الهيدروجين وتحسين الترسيب في المثخّن والهاضم اللاهوائي. وفي التعامل مع الصرف المحلي، فإن تركيز المواد الصلبة في الارتشاح السفلي غالباً ما يكون ضعف التركيز في الحمأة المستعملة. فعلى سبيل المثال سيكون محتوى المواد الصلبة المتوقع في الارتشاح السفلي 6% في مزيج من حمأة أولية وحمأة منشّطة، وسيكون 8% في حمأة أولية مضاف إليها دبال. ومن الصعب التنبّؤ بالأداء الدقيق

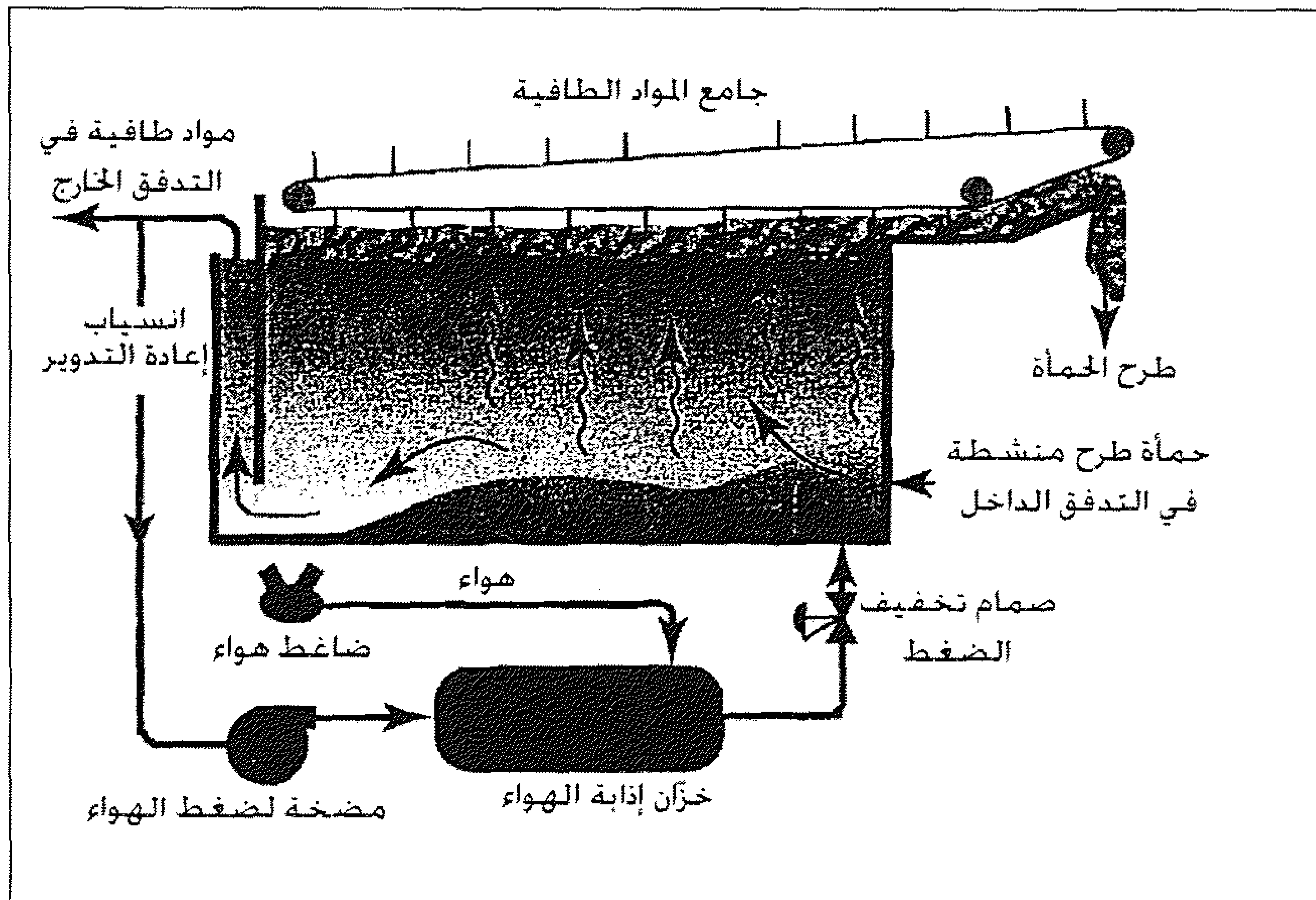
لمثخّن نظراً إلى الطبيعة المتغيرة لحمآت الصرف. وتتباين نسبة إمساك المواد الصلبة بين 80% و95% وذلك تبعاً لخصائص الحمأة. وقد تُستخدم المواد الكيميائية المُخثرة لتحسين إمساك المواد الصلبة وكثافة الصرف المثخن.

تثخين حمآت الصرف المنشطة

ليست حمآت الصرف عموماً طيّعة للترسيب الثقالي. فبعض حمآت التهوية الموسَّعة متنفسة ذاتياً إلى حد كاف لتثخنها بالثقالة من دون طرد معتبر للغازات أو تكثيف لحجمها. يمكن للتثخّن الثقالي للحمأة المنشطة القادمة من محطة تهوية موسّعة دون ترويق أولي أن يزيد من تركيز المواد الصلبة فيها من 0.75% إلى 3.5%. وتتثخن الحمآت المنشطة بفاعلية أكبر باستخدام أداة ميكانيكية مثل التعويم بالهواء المُذاب، أو الحزام الثقالي، أو المثخّنات النابذة، والتي يمكنها تثخين الحمأة من 0.5% إلى 6%.

التعويم بالهواء المُذاب

يمكن التوصل إلى التعويم بالهواء المُذاب عبر تحرير فقاعات الهواء الملحقة بجسيمات الحمأة دافعةً إياها إلى الطفو. والشكل 11-54 مخطط هيكليّ تنظيميّ لوحدة نموذجية. تميل الوحدات الصغيرة إلى أن تأخذ شكلاً مستطيلاً مصنّعاً من الفولاذ. أما الوحدات الكبيرة فتكون دائريةً ومصنعةً من الفولاذ أو البيتون. تدخل الحمأة المنشطة من قاع خزّان التعويم، حيث تتحد مع انسياب معاد التدوير يحتوي على هواء مضغوط. يتم ضغط جزء من التدفق الخارج المروّق في خزان احتفاظ منفصل تحت ضغط الهواء الجوي البالغ تقريباً 60 Psi لإجبار الهواء على الدخول في المحلول. وبتحرير الضغط، يشكِّل الهواء المُذاب في الهواء معاد التدوير فقاعات هواء صغيرة تلتصق بالمواد الصلبة المعلّقة. يُعاد الانسياب السفلي الناتج من العملية إلى معالجة مياه الصرف، وفائض الانسياب الذي طُرِح من أداة الجرف الميكانيكية، هو الحمأة المثخّنة.



شكل 11-54: مخطط توضيحي لخزان تعويم بالهواء المُذاب لتثخين حمأة منشطة مثخّنة

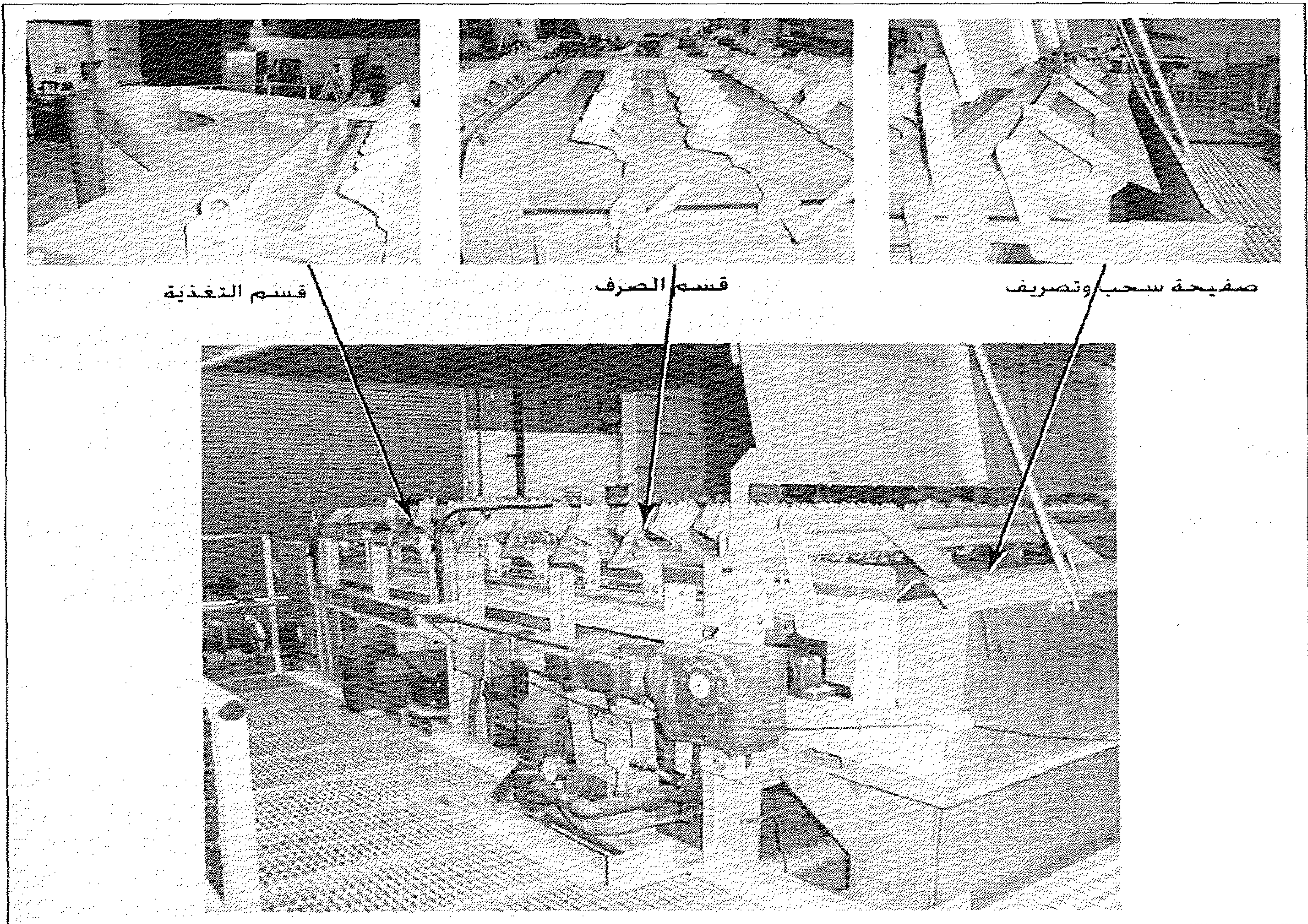
تنتج عادةً مثخّنات التعويم المُستخدمة في حمأة الصرف المنشّطة، ركازةً ذات محتوى 4% من المواد الصلبة بمردودية لهذه المواد قدرها 85%. يمكن إضافة البوليميرات أو مخثّرات أخرى لتحسن الإمساك بالمواد الصلبة بنسبة 95% أو أكثر. ولكن يمكن للمعالجة الكيميائية أن لا تزيد تركيز الحمأة المثخّنة. تقع معدلات الحمولة العملية لحمأة الصرف المنشّطة في ما بين 2 lb و4 lb بالقدم المربع من المواد الصلبة (10 - 20 kg/m^2 . d) من مساحة التعويم بالساعة. ونظراً إلى عدم ثبات الخصائص الكيميائية للكدرة الحيوية، حتى ضمن المحطة الواحدة، فإنه يتوجّب حساب الاستجابة لمساعدات التعويم الكيميائي وحمولات المواد الصلبة، وذلك في كل حالة على حدة.

مثخنات حزام الثقالة

يتكون مثخن حزام الثقالة من حزام نسيجي نفوذي يتحرك باستمرار فوق سطح أفقي، سامحاً بالتالي للماء الحر أن يرشح من الحمأة مبقياً المواد الصلبة فوق الحزام

النسيجي؛ تتطلب هذه العملية التي يوضحها الشكل 11-55، بوليميرات لتحرير الماء الحر وتكتل المواد الصلبة. والمثخّنات مستطيلة الشكل وتتباين في عرض الحزام من 1m إلى 3. تدخل الحمأة خزان تكدُّر حيث تتفاعل البوليميرات مع المواد الصلبة. يوزع الشلال الداخل، الحمأة بشكل متجانس على امتداد عرض الحزام. تساعد صفوف من المحاريث في تحرير ماء إضافي عبر فتح ممرات الصرف. يُصرّف الماء الحر عبر الحزام بتحرُّك الحزام على امتداد الطول الأفقي للمثخّن. يجمع حوض موجود تحت الحزام الراشح ويقوم بتوجيه الانسياب إلى الصرف. تتسبب صفيحة هامشية في آخر الحزام بصد الانسياب وردّه وقد تُستخدم في زيادة نزع الماء. تسقط الحمأة المنزوعة الماء إلى وعاء مخروطيّ في نهاية الحزام حيث تُضخ من هناك. تلتصق بعض الحمأة بنسيج الحزام ويتم جرفها بواسطة مجداف كاشط. بينما تسدّ بعض الحُبيبات فتحات النسيج، ما يقلل من قابلية إمرار الماء، يقوم رذّاذ عالي الضغط بغسل الحزام لإزالة البوليمير والحمأة من نسيج الحزام في أثناء طريق العودة.

يمكن التحكُّم بسرعة الحزام بزيادة أو إنقاص معدل الانسياب. تتراوح حمولة الوحدة في مجال 100 إلى 250 gpm (400 - 1000 l/m) من عرض الحزام. وتبعاً لسرعة الانسياب الداخل التي تتباين بين 0.5% و1.0%، تتراوح كمية المواد الصلبة المنزوعة الماء بين 4% و6%، وعند استخدام الصفيحة الهامشية تتراوح الكمية بين 6% و8%. وتتسبب كمية بوليمير تقع في مجال بين 3 lb/ton و10 lb/ton (1.5 kg/ton إلى 4.5 kg/ton) بإمساك المواد الصلبة بنسبة 90% إلى 98%. وتصل كمية الاحتياج المائي 150 gpm لدى 50 Psi. وتعمل مثخّنات الأسطوانات الدوّارة بشكل مشابه لعمل الحزام الثقالي، إذ يُصرف الماء الحر من الحمأة المتكدِّرة عبر غربال من فولاذ غير قابل للصدأ.



شكل 11-55: كأس جاذبي يستخدم لتثخين حمأة صرف منشطة. تقوم البوليميرات بتكتل الكدرات وتسمح بالماء الحر بالارتشاح عبر نسيج بلاستيكي يتحرك باستمرار. يحافظ ماء غسيل على النسيج نظيفاً وحراً من أيّ مواد صلبة عالقة. (صور مأخوذة من (Sacramento Regional Wastewater Treatment Plant .in Elk Grove, California

التثخين بالنبذ

تماثل آلات التثخين بالنبذ آلات نزع الماء بالنبذ. فلدى حجم الآلة نفسه، تستقبل آلات التثخين معدلات انسياب تبلغ 400 gpm إلى 600 gpm (1500 l/m إلى 2300 l/m) بنسبة مواد صلبة تتراوح بين 0.5% و2% لتنتج حمأة مثخّنة في مجال 4% إلى 8%.

مثال 11-16

تعالج محطة تهوية تقليدية 7.7 mgd من مياه الصرف المدنية ذات محتوى BOD قدره 240 mg/l ومواد معلّقة قدره 200 mg/l. يظهر الشكل 11-1 نمط انسياب الحمأة بمثخّن حزام جاذبي لتركيز فائض الحمأة المنشطة. تُضخ الحمأة الأولية والحمأة المنشطة المثخّنة بشكل منفصل إلى هاضم لاهوائي. احسب كميات الحمأة الأولية، والحمأة الثانوية، والحمأة الممزوجة ومحتوى المواد الصلبة في كل

منها. وذلك بافتراض الآتي: إزالة SS تبلغ 50%، وانخفاض الـ BOD 35% في الحمأة الأولية، تركيز الحمأة الخام 4% لدى نسبة (F/M) عند التشغيل قدرها 1:3، تركيز حمأة الصرف المنشطة 15000 mg/l، وتركيز المواد الصلبة من حزام التثخين الثقالي قدره 5%.

الحل

بتطبيق المعادلة 11-37 و11-41 للحمأة الأولية

$$W_P = 0.50 \cdot 200\ mg/l\ \ 7.7\ mgd\ ,\ 8.34$$
$$= 6410\ lb/day$$
$$V_P = \frac{6410}{\left(\frac{100-94}{100}\right)8.34} = 12800\ gal/day$$

من الشكل 11-50، تكون لنسبة (F/M) قدرها (1:3)، قيمة K تساوي 0.48. وبالتعويض في المعادلتين 11-38 و11-41

$$W_s = 0.48 \cdot 0.65 \cdot 240\ mg/l \cdot 7.7\ mgd\ .\ 8.34$$
$$= 4800\ lb/day$$
$$V_s = \frac{4800}{(1.5\ /100)8.34} = 38400\ gal/day$$

بعد التثخين بالحزام الثقالي افترض أن نسبة إمساك المواد الصلبة تبلغ 98%، وحجم حمأة الصرف المنشطة.

$$V_s = \frac{4800\ .\ 0.98}{(0.5\ /100)8.34} = 11300\ gal/day$$

وسيكون للحمأة المختلطة بعد مزج الحمأة الأولية والحمأة الثانوية المثخّنة الخصائص الآتية

$$W_{ps} = W_p + W_s = 6410 + 4800 = 11200\ lb/day$$
$$V_{ps} = V_p + V_s = 12800 + 11300 = 24100\ gal/day$$
$$S = \frac{100\ .\ W_{ps}}{8.34\ .\ V_{ps}} = \frac{100\ .11{,}200}{8.34\ .\ 24{,}100} = 5.57\%$$

مثال 11-17

يتم في خزان دائري قطره .12.0 in وعمق جانبي للمياه قدره 10.0 ft، تثخين حمأة أولية تحوي دبال من مرشّح تقطّري. تبلغ كمية الحمأة المُستخدمة 2600 gpd بمحتوى مواد صلبة قدره 4.5%، وكمية الحمأة المثخنة المسحوبة 1300gpd بمحتوى مواد صلبة قدره 7.5%. تبلغ ثخانة طبقة الحمأة المتماسكة في الخزان 3.0ft. وللتحكُّم بالرائحة الكريهة وتحسين التثخين، يتم ضخ 45000 gpd من مياه الصرف إلى الخزان بجانب ضخ الحمأة لزيادة معدل فائض الانسياب. احسب حمولة المادة الصلبة على قاع الخزان، وإمساك المواد الصلبة، ومعدل فائض الانسياب، والزمن المقدَّر للاحتفاظ بالمواد الصلبة في الخزان.

الحل

مساحة الخزان: $\pi(12.0\ \text{ft})^2/4 = 113\ \text{sq ft}$

حمولة المواد الصلبة: $\frac{2600\ \text{gpd}\ .0.045\ .\ 8.34}{113\ \text{sq ft}} = 8.6\ \text{sq ft}$

إمساك المواد الصلبة: $\frac{1300\ \text{gpd}\ .0.075\ .\ 8.34}{2600\ \text{gpd}\ .0.045\ .\ 8.34} = \frac{815\ \text{lb/day}}{976\ \text{lb/day}} = 0.83 = 83\%$

معدل فائض الانسياب: $\frac{(4500+2600-1300)\text{gpd}}{113\ \text{sq ft}} = 410\ \text{gpd/sq ft}$

المواد الصلبة المقدّرة في الخزان:

$3.0\ \text{ft}\ .\ 113\ \text{sq ft}\ .\ 0.075\ .\ 62.4 = 1590\ \text{lb}$

زمن احتفاظ المواد الصلبة: $\frac{1590\ \text{lb}\ .24\ \text{hr/day}}{813\ \text{lb/day}} = 47\ \text{hr}$

11-14 متطلبات التنظيم لمعالجة وطرح حمأة المجارير

تم تنظيم معالجة واستخدام حمأة المجارير بالـ CFR 40 الجزء 503، الذي صدر عام 1993 تحت سلطة وثيقة المياه النظيفة (CWA)[4]. لقد صُمّم القانون لتشجيع إعادة تدوير الحمأة، عبر استعمالها، لا عن طريق طرحها في الأرض أو ردمها في الحفر. لقد استُخدِم أسلوب استعمال المواد الصلبة الحيوية في الأرض لفترة طويلة وشُجّع أكثر مع المحدودية والكلفة العالية المرافقتين للردم في الحفر والحرق. لقد غطَّت النظمُ حدوداً رقمية لفعاليات تخفيف المُمرضات إضافة إلى المتطبات التقنية.

إن بعض البكتيريا من القواقع الواقية، والفيروسات التي تبقى هاجعة خارج الجسم المضيف، وكييسات الابتدائيات، وبيوض الديدان الطفيلية، مقاومة لضغوط عضويات أخرى منافسة خلال المعالجة تحت ظروف هوائية ولاهوائية. لقد دُرست إمكانية بقاء المُمرضات على قيد الحياة في التربة وعلى النباتات وأُدرجت في الجدول 11-8. وتعتبر السالمونيللا (Salmonella sp.) والقولونيات البرازية مؤشرات جيدة تدل على الدرجة التي تم تخفيض البكتيريات المُمرضة إليها. وتوجد هذه البكتيريات بتراكيز كبيرة وهي على الأقل عالية الاحتمال كالعضويات المُمرضة. وتحوي عادةً حمأة المجارير غير المعالجة على million 100 MPN/g تقريباً من القولونيات البرازية.

وغالباً ما يُشار إلى الحشرات التي تنشر المرض دون أن تتسبب به، بمصطلح "حشرة ناقلة" مثل البعوض، والذباب، والبراغيث والقراد. تجذب حمأة المجارير غير المعالجة أو المعالجة جزئياً الحشرات الناقلة بسبب البيئة الحارة والرطبة والبيئة الغنية حيوياً. إن مراقبة الحشرات الناقلة هامة جداً للحد من انتشار العدوى.

11-15 متطلبات المواد الصلبة الحيوية الصف B

تلقى المواد الحيوية الصلبة صف B معالجةً خاصة، ولكنها رغم ذلك لا تعتبر خاليةً من المرض. وينبغي أن تفي بالمتطلبات الآتية:

1. مراقبة محتوى القولونيات البرازية.

2. استخدام العمليات لإنقاص المُمرضات إلى حد كبير.
3. استخدام العمليات المكافئة لإنقاص المُمرضات إلى حد كبير.
4. وضع قيود على موقع الاستخدام الأرضي.

تتطلب مراقبة القولونيات البرازية احتواء سبع عينات تم اعتيانها خلال فترة اسبوعين على أقل من مليونين MPN/g وزن جاف من المواد الصلبة الحيوية. فإن بلغ المتوسط 100 million MPN/g من الحمأة غير المعالجة، يتطلب الأمر كتلة حيوية صف B للحصول على إزالة 1.7 log. وتشير القيمة العالية للانحراف المعياري إلى إمكانية تغير في الاعتيان أو في التحليل المخبري، أو قد يشير إلى انخفاض مضطرب خلال المعالجة. ويعتبر الانحراف المعياري للـــ log بقيمة 0.3 مقبولاً.

جدول 11-8: قدرة المُمرضات (Pzthogens) على البقاء في التربة

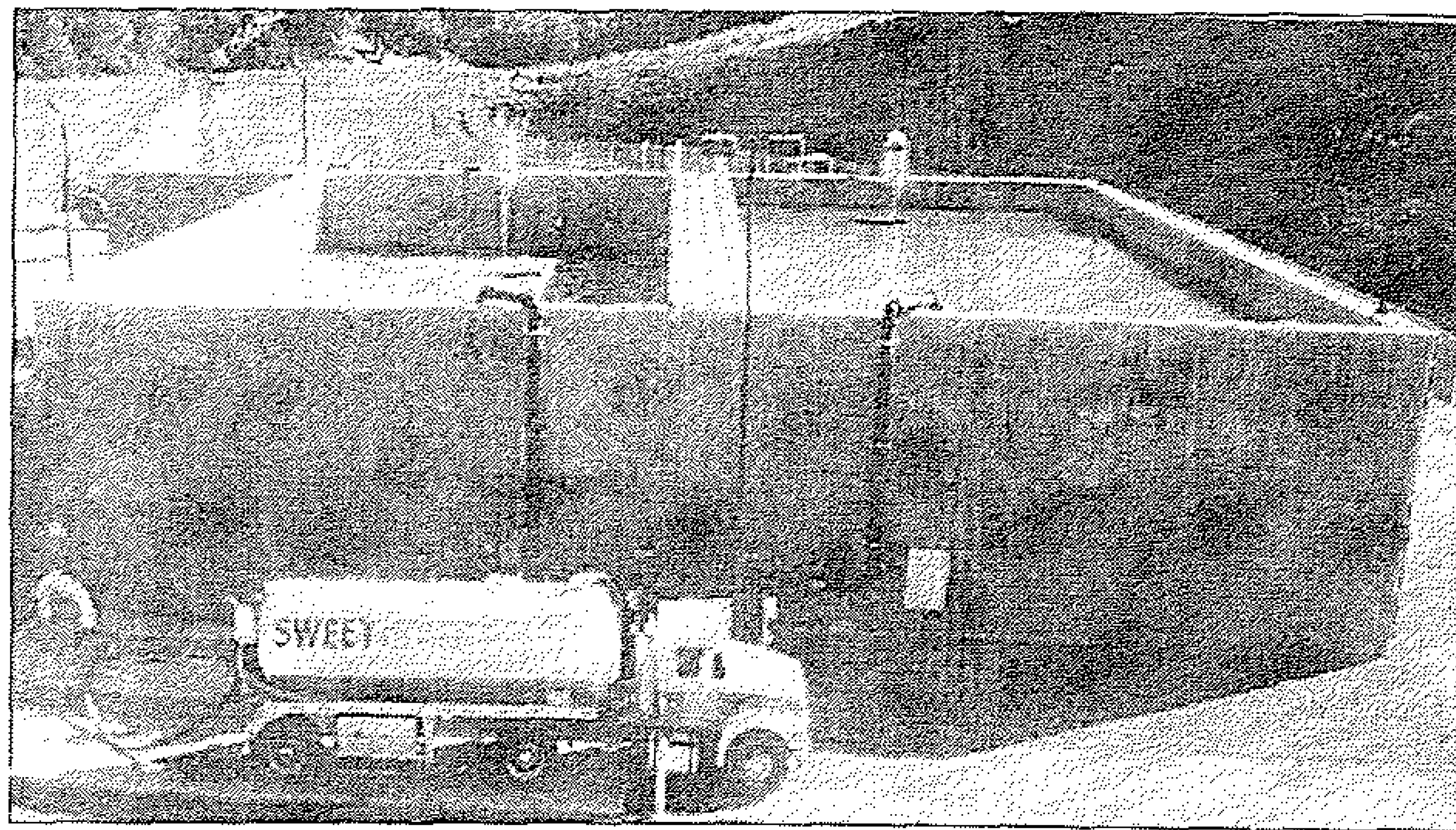
	التربة		النبات	
الممرض	القيمة القصوى الخالصة	القيمة القصوى الشائعة	القيمة القصوى المطلقة	القيمة القصوى الشائعة
بكتيريا	سنة واحدة	شهران	ستة أشهر	شهر واحد
فيروسات	سنة واحدة	ثلاثة أشهر	شهران	شهر واحد
كييسات الابتدائيات	عشرة أيام	يومان	خمسة أيام	يومان
بيوض الديدان الطفيلية	سبع سنوات	سنتان	خمسة أشهر	شهر واحد

ينبغي أن تؤخذ كل عينة من العينات في النقطة نفسها، وأن تُعالج بشكل موحَّد، وأن تُحلل خلال 24hr. إضافة إلى ذلك، ينبغي استيفاء متطلبات معالجة مكافحة الحشرات الناقلة. يظهر الجدول 11-9 عمليات إنقاص المُمرضات إلى حد كبير، بما في ذلك الهضم الهوائي واللاهوائي، والتجفيف الهوائي، والتحويل إلى مزيج سماد، وموازنة الجير. ينبغي أن تكون العمليات المكافئة قادرةً على إنقاص القولونيات بشكل متجانس ومتساوق إلى 2 million MPN/g تحت طيف من

الظروف التي قد تكون مميّزة للموقع. تتضمن هذه العمليات معدّات وترتيبات متنوعةً مُستملَكة، حيث يساعد مصنّعون مستقلون على إعدادها.

الهضم الهوائي

يمكن لحمأة الصرف أن تُوازن عبر تهوية طويلة المدى، تقوم بتحليل حيوي للمواد الصلبة الطيارة. لقد تم تطوير عملية الهضم الهوائي خصيصاً للتعامل مع فائض حمأة منشطة من محطات معالجة لا تضم مروّقات أولية (الشكل 11-2أ). لقد فشلت المحاولات المبكرة لهضم هذه الحمأة لاهوائياً بسبب التركيز المنخفض للمواد الصلبة وللطبيعة الهوائية للحمأة. كما منع أيضاً المحتوى العالي للمياه، الواقع في مجال 98% إلى 99% نزع الماء ميكانيكياً بكلفة اقتصادية، دون تثخين مُسبق. علاوةً على ذلك، ونظراً إلى أن معظم محطات التهوية تقدّم خدماتها لتجمُّعات صغيرة، فلا يمكن تبرير الاستثمارات الكبيرة في معدات التثخين الميكانيكي والهضم اللاهوائي لمعالجة حمأة الصرف. ونتيجة لذلك، تم إدخال خزّانات احتفاظ لاستقرار وحفظ المحلول الممزوج المسحوب من خزان التهوية. والهاضمات الهوائية هي خزّانات مفردة أو متعدّدة مجهزة بمهويّات ناشرة أو ميكانيكية. يتم تزويدها أيضاً ببوابات أو أنابيب للتخلّص من الجزء الطافي بعد الترسيب الثقالي للمواد الصلبة المعلّقة مع إيقاف تشغيل المهوّيات. يظهر الشكل 11-56 هاضمين هوائيين يُستخدمان للتعامل مع الصرف الصحي المجمّع من المنازل، ومن خزّانات صرف المنشآت الصناعية وخدمة الغابات.



شكل 11-56: صورة لهاضمات هوائية لمعالجة صرف صحي في (Union Mine Disposal Site, El Dorado County, California). تم قطع الهواء على الهاضم الأيمن للسماح بالمواد الصلبة بالترسب وإزالة الجزء الطافي. تقوم شاحنة نقل الصرف الصحي بطرح حمولتها في وحدة إزالة الرمل الخشن

تتباين معايير التصميم للهضم الهوائي بتباين طبيعة حمأة الصرف وطريقة الطّرح النهائي. إن الخط الموجّه العام لاستقرار حمأة صرف منشّطة ذات تركيز للمواد الصلبة المعلّقة يبلغ حوالى 1.0%، هو حمولة قصوى للمواد الصلبة يبلغ 0.04 lb/cu ft/day (g/m^2 . d) 640 وفترة تهوية تقع بين 200 degree-day و300، والتي حسبت من ضرب درجة حرارة الهضم $^{\circ}$C بعمر الحمأة. غير أن EPA تتطلّب 800 درجة – يوم على الأقل لاستيفاء متطلبات الصنف B. ويبلغ انخفاض المواد الصلبة الطيّارة والــ BOD في هذه الحمولات بين 30% و50%. وفي المحطات الصغيرة، يكون حجم الهاضم الهوائي بين 2cu ft و3cu ft في تصميمٍ مكافئ السكان لمحطة المعالجة. الأمر الذي ينتج حمولة تتراوح بين 0.01 lb/cu ft/day و0.02 lb/cu ft/day (160 g/m^3 .d إلى 320 g/m^3 .d). تخلق تهوية حمأة صرف منشّط، حمأةً مهضومةً تقاوم التثخين الثقالي. وبوضعية هادئة وبدون مزج هواء، فإنه يمكن تثخين تركيز المواد الصلبة إلى ما يقارب 2.0% مواد صلبة. لا يبدو أن التركيز الأقصى المترافق مع سحب للمواد الطافية يتجاوز 2.5%. تتسبّب إمكانية الترسيب المتدنية هذه مشاكل متكررة في التخلص من الحجم الكبير للحمأة الناتجة. وطرق الطّرح الشائعة هي نشر المحلول على أرض زراعية، أو بسكبها في أهوار ثم تجفيفها على طبقة رملية. فإن استُخدمت طبقات التجفيف، فيجب أن تكون عميقةً إلى حد كاف لتسمح باستخدام 3ft أو أكثر من الحمأة المهضومة بحيث تصل ثخانة الكعكة الجافة إلى 2in.

يعمل الهاضم الهوائي عادةً بتغذية مستمرة بالحمأة الخام، مع سحب متقطع للمواد الطافية والحمأة المهضومة. يتم تهوية الحمأة المهضومة باستمرار في أثناء فترة الهضم المحدّدة بعد امتلاء التخزين. بعد ذلك تُوقّف عملية التهوية للسماح للمواد الصلبة بالترسب بالثقالة. يُخضّ الجزء الطافي للترسيب ويُعاد إلى بداية محطة المعالجة، كما يُزال جزء من الحمأة المثخّنة بالثقالة للطرح. وفي التطبيق العملي، قد تكون التهوية والترسيب دورةً يوميةً مع تغذية في بداية اليوم، ويتم ترسيب الجزء

الطافي المروّق في وقت لاحق في اليوم. تُسحب المواد الصلبة المهضومة عندما لا تُثخّن الحمأة جاذبياً في الخزان لتوفير مواد طافية ذات صفاء مناسب.

جدول 11-9: عمليات إنقاص المُمرضات بشكلٍ كبير للوصول بالمواد الصلبة الحيوية إلى استيفاء متطلبات درجة الصنف B^5

عملية المعالجة	متطلبات الصنف B	متطلبات مكافحة الحشرات الناقلة
هضم هوائي		
خيارات التغذية		
مستمر، من دون إزالة الجزء الطافي	40 يوماً بدرجة 68°F (20°C)	إنقاص(VSS) ≥ 38% أو عندما SOUR(*) ≤ 1.5 ملغ لدى 68°F (20°C) أو إذا تم تفكيك إضافي لـــ (VSS) < 15% على مدى 30 يوم
مستمر، مع إزالة الجزء الطافي	60 يوماً بدرجة 58°F (15°C)	
مستمر، مع إزالة الحمأة على دفعات		
هاضمات على دفعات أو تدريجياً		
هضم لاهوائي		
خيارات التغذية		
مستمر، من دون إزالة الجزء الطافي	معدل قياسي (من دون مزج، بحرارة خفيفة أو من دون حرارة)	إنقاص(VSS) ≥ 38% أو عندما أو إذا تم تفكيك إضافي لـــ (VSS) < 17% على مدى 40 يوم، اختبار SOUR، غير ملائم
مستمر، مع إزالة الجزء الطافي		
مستمر، مع إزالة الحمأة على دفعات	60 يوماً لدى 68°ف (20°م)	

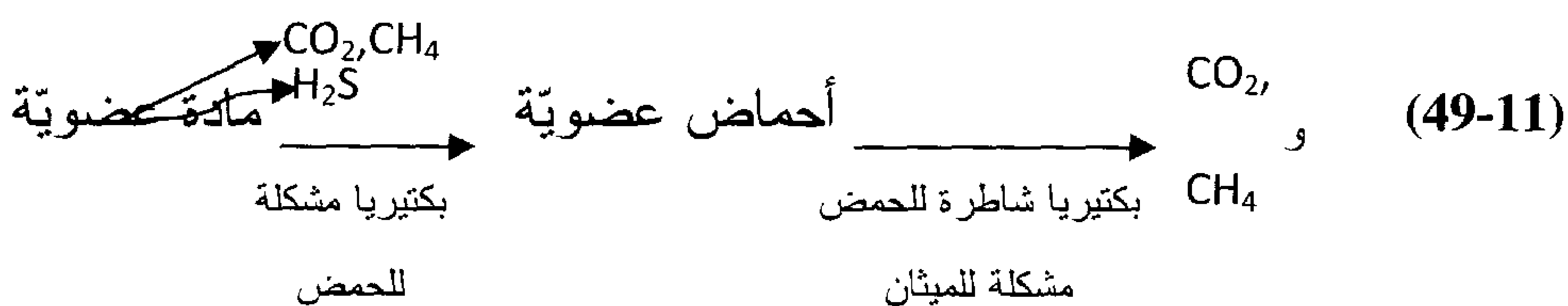
هاضمات على دفعات أو تدريجياً	معدل مرتفع (مزج مستمر،حرارة مُتحكّم بها) 15 يوماً لدى 95˚F إلى 131˚F (35˚C إلى 55˚C)	
تجفيف هوائي		
تجفيف في الهواء الطلق على الرمل أو على سطوح تجفيف الحمأة	تجفيف هوائي لحد أدنى قدره 3 أشهر بحيث تكون درجة الحرارة خلال شهرين إلى ثلاثة > 23°F (0°C)	إنقاص(VSS) ≥ 38%
تحويل إلى سماد		
باستخدام تمار الغابات، لحاء الشجر، نشارة الخشب، قشر الرز، أو إضافات لامتصاص الرطوبة وزيادة انسياب الهواء	أكوام من التبن أو مزج في أوعية للوصول إلى درجات حرارة متصاعدة	يجب أن تصل درجة حرارة كومة الحمأة > 104°F (40˚C) لمدة 14 يوماً بمعدلٍ 113˚F (45˚C)
استقرار الجير		
استخدام الجير المحلمأ Ca (OH)2 أو الجير السريع CaO	يضاف الجير لرفع درجة الـ pH للحمأة إلى 12 لمدة ساعتين	يجب أن يكون pH الحمأة ≥ 12 لمدة ساعتين و≥ 11.5 لمدة 24 hr

(*) SOUR: معدل امتصاص أكسجين نوعي.

الهضم اللاهوائي

إن الغرض من هضم الحمأة هو تحويل حمأة ذات حجم كبير ورائحة كريهة إلى مواد جامدة يمكن نزع الماء منها بسهولة من دون رائحة كريهة. تتكون العملية البكتيرية الملخصة في المعادلة 11-49 من عمليتين متتاليتين تحدثان بشكل متزامن في الحمأة المهضومة. تتكون المرحلة الأولى من تحطيم مركَّبات عضوية كبيرة وتحويلها إلى أحماض عضوية مع نواتج جانبية غازيّة من ثاني أكسيد الكربون، والميثان،

وكميات أثر من كبريتيد الهيدروجين. تُنجز هذه المرحلة من قبل مجموعة منتقاة من بكتيريات فعّالة في بيئة خالية من الأكسجين. فإن كان ينبغي إيقاف العملية هناك، فستخفِّض الأحماض المتراكمة قيم الـــ pH، وستعيق التفكك اللاحق نتيجة "تخليل، أو تحميض" الحمأة الخام المتبقية. ولكي يتم الهضم، فإن الأمر يتطلب مرحلةً ثانية للتحويل للغاز، يتم فيها تحويل الأحماض العضوية إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون. والبكتيريات التي تشطر الأحماض وتشكِّل الميثان هي حصراً لاهوائية وحسّاسة جداً للظروف البيئية من درجة حرارة، وpH، والحياة اللاهوائية. إضافة إلى ذلك، فإن لبكتيريا الميثان معدل نمو أبطأ من البكتيريا المكوِّنة للأحماض، وهي مميّزة جداً ومحدّدة بدقة في متطلبات الإمدادات الغذائية. فعلى سبيل المثال، يقتصر كل نوع على أيض مركَّبات قليلة فقط، وهي بصورة أساسية الكحولات والأحماض العضوية، بينما لا تتوفر الكربوهيدرات، والدهون والبروتينات كمصادر للطاقة



يعتمد استقرار عملية الهضم على التوازن السليم للمرحلتين الحيويتين. وقد ينتج تراكم الأحماض العضوية إما من زيادة مفاجئة في الحمولة العضوية أو زيادة حادّة في درجة حرارة التشغيل. وفي أيّ من الحالتين، فإن الإمداد بالأحماض العضوية يتجاوز السعة الهضمية للبكتيريا المشكِّلَة للميثان. ويتسبب عدم التوازن هذا بتناقص إنتاج الغاز وانخفاض محتمل في قيمة PH، إلا إذا انخفضت الحمولة العضوية للسماح بانتعاش تفاعل المرحلة الثانية. قد تتسبب الهاضمات بتشكّل رغوة كنتيجة لفائض تغذية. قد يعيق أيضاً تراكم المواد السامّة من مياه الصرف الصناعية، كالمعادن الثقيلة، تفاعل الهضم. وتقدير السبب الدقيق لمشاكل الهاضم غالباً يكون صعب التقدير. إن مراقبة حمولة المواد الصلبة الطيّارة، والإنتاج العام للغاز، وتركيز الأحماض الطيّارة في الحمأة المهضومة، ونسبة ثاني أكسيد الكربون

في الغازات الضاغطة هي الطرق المُستخدمة بشكل متكرّر لتعطي إنذاراً مسبقاً لعطل قريب الحدوث. ويمكن لهذه القياسات أيضاً أن تشير أيضاً إلى السبب الأكثر احتمالاً للصعوبات. وينبغي لإنتاج الغاز أن يتغير طرداً مع الحمولة العضوية. ويكون محتوى الأحماض الطيّارة عادةً مستقراً لدى معدل حمولة وحرارة تشغيل محدّدين. كما ينبغي للنسبة المئوية لثاني أكسيد الكربون أن تبقى نسبياً ثابتة. ولا يوصى بأن تتم مراقبة الهضم من خلال قياسات pH ، وذلك نظراً إلى أن هبوط قيمة pH لا يسبق عادةً الأعطال، ولكنه يشير إلى أن عطلاً قد حدث. يدرج الجدول 10-11 ظروف التشغيل والحمولات العامة لهضم لاهوائي.

10-11: ظروف التشغيل والحمولات العامة لهضم لاهوائي لحمأة

درجة الحرارة	
النموذجية	(36.7°C) 98°F
مجال التشغيل العام	(29-37°C) 85-99°F
pH	
النموذجيّة	7.0 إلى 7.1
مجال التشغيل العام	6.7 إلى 7.4
تركيب الغاز	
ميثان	65 إلى 69%
ثاني أكسيد الكربون	31 إلى 35%
كبريتيد الهيدروجين	آثار إلى 80 mg/l
تركيز الأحماض الطيّارة	
مجال التشغيل العام	200mg إلى 8001mg

تركيز القلويّة تشغيل عادي حمولة المواد الصلبة الطيّارة	2000 mg/l إلى 2500 mg/l
مرحلة وحيدة تقليديّة ذات معدل عالي	lb/cu ft/day 0.02-0.05 (lb VS /cu ft/day[a]) (lb VS /cu ft/day)0.15-0.05
إختزال المواد الصلبة الطيّارة مرحلة وحيدة تقليديّة مرحلة أولى ذات معدل عالي زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة	%50 إلى %70 %50
مرحلة وحيدة تقليديّة	30 إلى 90 يوماً
مرحلة أولى ذات معدل عالي	15 إلى 20 يوم
طاقة الهاضم استناداً إلى مكافئ عدد السكان في التصميم مرحلة وحيدة تقليديّة مرحلة أولى ذات معدل عالي	4 إلى 6 cu ft[b]/PE 0.7 إلى 1.5 cu ft/PE

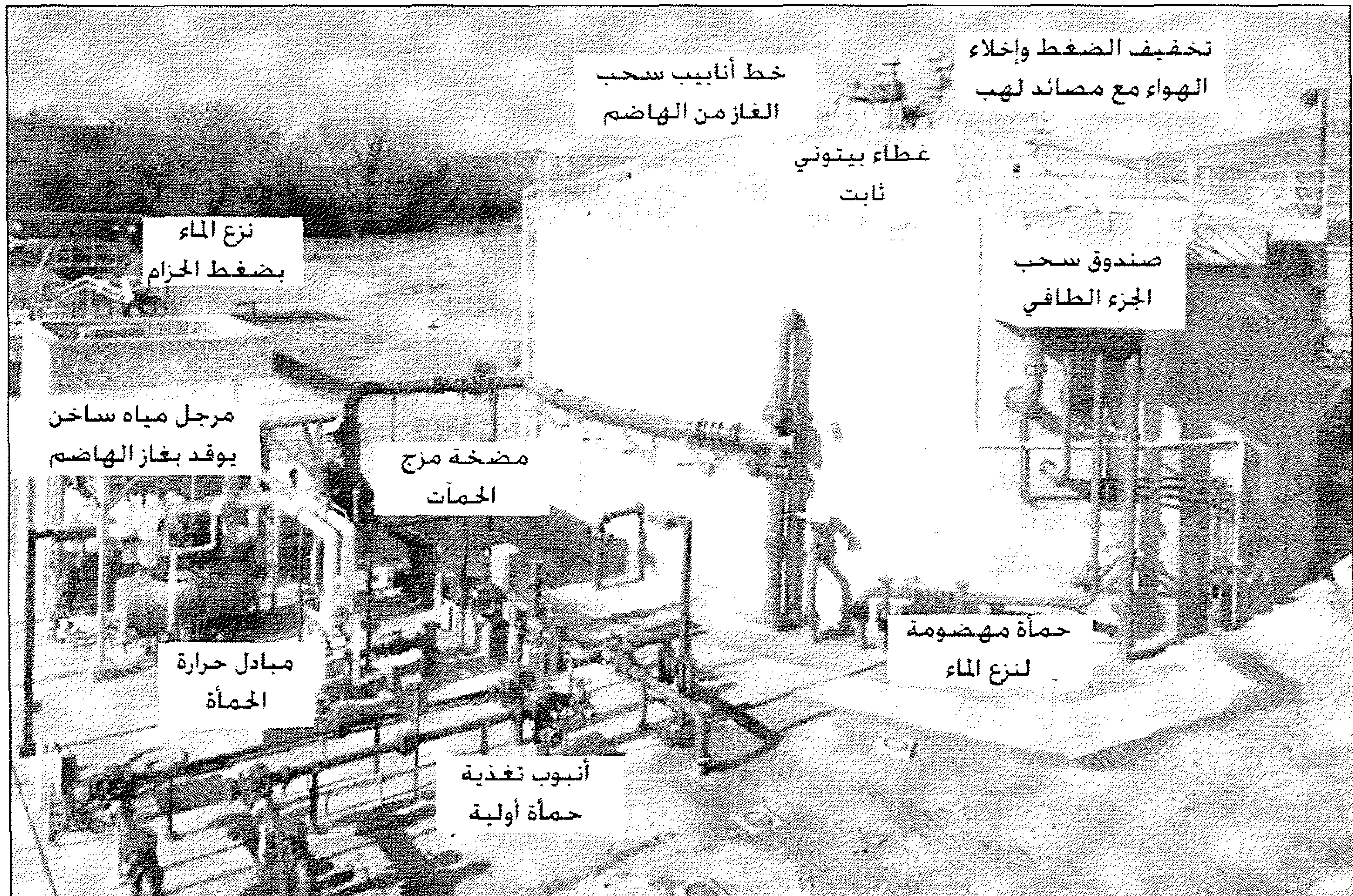
[a] 1.0 lb/cu ft/day=16000 $g/m^3/d$

[b] 1.0 cu ft = 0.0283 m^3

الهضم وحيد المرحلة

تُظهر الصورة هاضماً لاهوائياً ذا غطاء ثابت (شكل11-57). كما تظهر الصورة معدّات إضافية مرتبطة بتسخين الحمأة: مرجل، ومبادل حراري، وشبكة

أنابيب لإعادة تدوير الحمأة. يتم ضخ الحمأة الخام إلى الخزان عبر أنابيب التغذية. تطرح مضخات المزج الحمأة من خلال بزابيز ضمن الهاضم للحفاظ على المحتويات من تطبُّق. ومن دون مزج، تنفصل الحمأة، إلى طبقة زبد في الأعلى، وطبقة وسطى مكوّنة من الجزء الطافي (مياه الفصل) ويأتي تحتها حمأة تُهضم بنشاط، وطبقة قاعدية، وطبقة من ركازة مهضومة. ويُضاف قدر محدود من المزج من خلال سحب الحمأة المهضومة وإمرارها عبر مرجل تسخين الحمأة، وإعادتها عبر شبكة الأنابيب الداخلة. يتم سحب الجزء الطافي من أيّ سلسلة من الأنابيب الممتدة من صندوق الجزء الطافي. تؤخَذ الحمأة المهضومة من قاع الخزان كي يتم نزع الماء منها. وتكون هاضمات المعدل العالي ممزوجةً كلية، ولا يميل محتواها إلى الانفصال أو إلى تشكيل مواد طافية صافية، وينبغي أن يتم نزع الماء من كافة محتويات الهاضم.



شكل 11-57 : صورة لهاضم لاهوائي بمرحلة وحيدة ذي غطاء ثابت. تتضمن معدات الدعم نظام التسخين (مرجل مياه ساخن، ومبادل لحرارة الحمأة). شبكة أنابيب لسحب لغاز، تغذية بالحمأة، وشبكة أنابيب للسحب (El Dorado Irrigation District, El Dorado Hills WWTP, CA

ومن أجل الهاضمات المُصمّمة بحيث يكون لها أغطية طافية، فإن هذه الأغطية تطفو على سطح الحمأة، ويقوم السائل الذي يمتد على جوانبها بتوفير سدّادة مُحْكَمة بين جدار الخزان وجوانب الغطاء. يُجمع الغاز المنطلق خارج الحمأة المهضومة في القبّة الغازية ويُحرق كوقود في مرجل الحمأة، ويتم طرح الغاز الفائض بحرقه في شعلة احتراق. يمكن أن يتحرك الغطاء شاقولياً اعتباراً من الدعامات التي يستند إليها للأعلى حتى قمة جدار الخزان، موجَّهاً من قبل أسطوانة موجودة على محيط الغطاء تفادياً لإعاقة الحركة. إن الحجم المحصور بين دعامات الاستناد والموضع الذي يصل إليه الغطاء في أقصى ارتفاعه هو كمية التخزين المتاح للحمأة المهضومة. وهذا يعادل ثلث الحجم الكلي تقريباً.

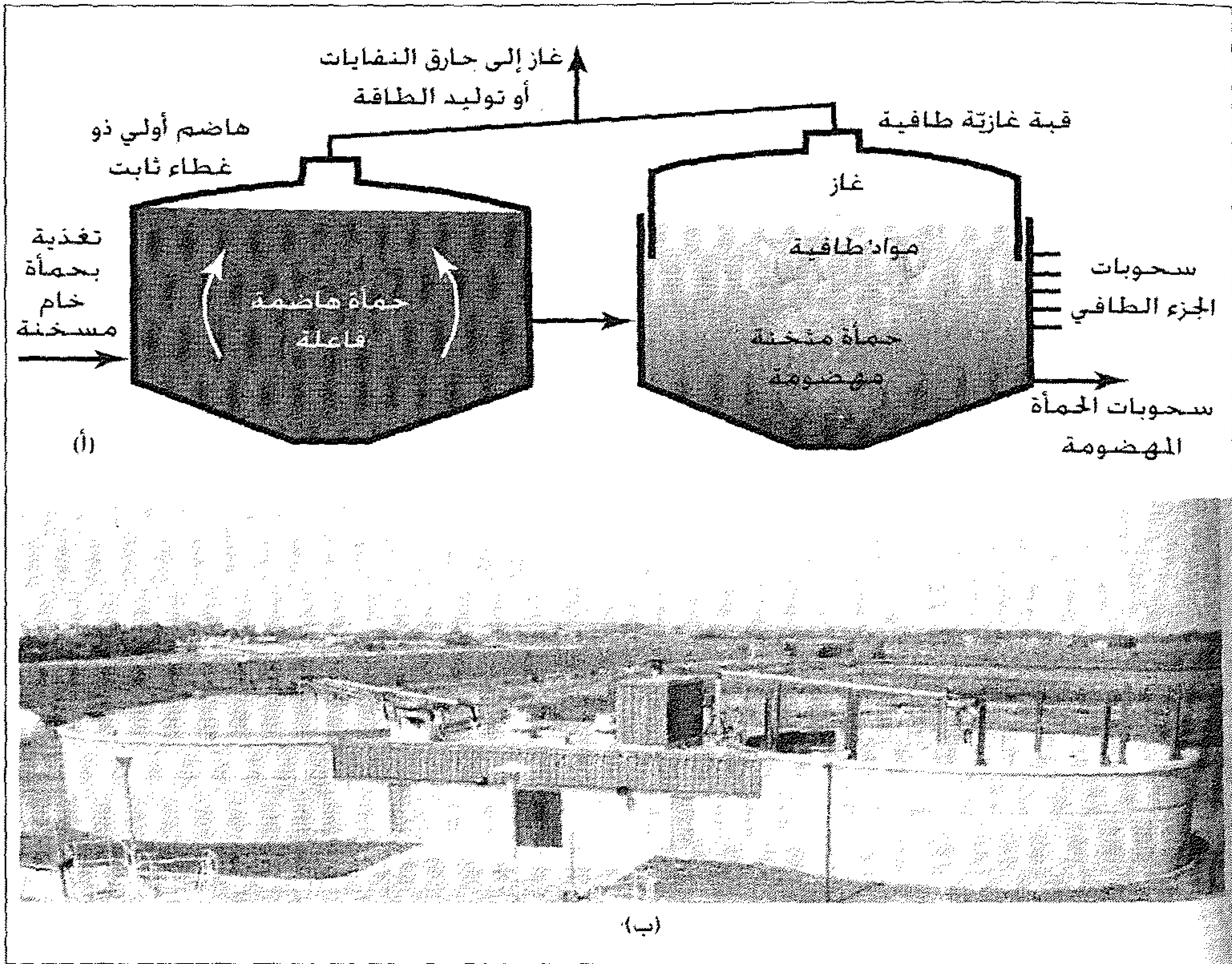
يُنجِز الهضمُ في خزان الغطاء العائم بمرحلة وحيدة، وظائف هضم المواد الصلبة الطيّارة، والتثخين الثقالي، وحفظ الحمأة المهضومة. وعندما تُضخ الحمأة خارج خزّانات الترسيب الأولية إلى الهاضم، يرتفع الغطاء إلى الأعلى فاسحاً المكان للحمأة. تسمح عملية غير ممزوجة بطرح يومي للمواد الطافية تساوي تقريباً ثلثي التغذية بالحمأة الخام. ولكون الماء المسحوب غني بكل من الـ BOD والمواد المعلّقة، يُعاد إلى مدخل محطة المعالجة. وتُزال الحمأة بشكل دوري لنزع الماء منها ومن ثم طرحها. وفي المحطات الكبرى، قد يتم نزع الماء من الحمأة ميكانيكياً، ولكن في المنشآت الصغيرة، غالباً ما تُنشر الحمأة بحالتها السائلة على الأرض الزراعية أو تجفَّف على طبقات الرمل وتُنقل من ثم إلى الدفن الأرضي. وغالباً ما يتحكم الطقس بجدول الطّرح الأرضي، وبالتالي يتطلب الأمر حجم تخزين كبير للهاضم في مناخات المناطق الشمالية. وفي تشغيل نموذجي، يتم إنزال الغطاء إلى دعامات الاستناد في فصل الخريف من السنة لتوفير حجم تخزينٍ أعظميٍّ خلال الشتاء.

أما الهاضمات ذات الغطاء الثابت، حيث يتم سحب الحمأة بينما تُستبدل الحمأة المهضومة بتغذية حمأة خام، فتحافظ على حجمٍ ثابت. تتطلّب الهاضمات ذات الغطاء الثابت خزّانات حفظ، وأهوار للحمأة، أو أيّ مواقع أخرى يمكن صرف الحمأة المهضومة المُستبدَلة فيها. ونظراً إلى أن الحجم ثابت والغطاء مثبَّت، يمكن

للهاضمات أن تمزج بمازجاتٍ توربينيّة مثبّتة على السطح، وبمضخات مثبَّتة خارجياً، وبمزج غازيّ في أنابيب السحب. والمازجات التوربينية المثبَّتة على السطح فعّالة جداً في مزج كافة محتويات الخزان. ويمكن إزالة الأوساخ عبر عكس اتجاه المزج. كما يمكن لمضخات المزج الخارجي أن تُركَّب في أنابيب سحب داخل الهاضم أو خارجه. يظهر الشكل 11-57 مضخات مزجٍ مركَّبة خارج خزان الهاضم. ومضخات المزج أيضاً فعّالة جداً، ولكنها قد تتطلّب نقاط تصريف متعدّدة عند التعامل مع هاضمات كبيرة. يحرض المزج الغازي انسياباً ضمن أنبوب السحب لتأمين المزج، وقد يعبّر عن متطلبات المزج بتعابير مثل، مدخلات الطاقة أو الزمن الإجمالي للدوران. والقيم النموذجية للطاقة هي 0.2 hp/1000 cu ft إلى 0.3 hp/1000 cu ft ($0.005\ kW/m^3$ إلى $0.008\ kW/m^3$). ولا يُقبل أيّ تساهل في كفاءة تحويل الطاقة المبذولة إلى مزج. يتم حساب زمن إجمالي الدوران من خلال تقسيم حجم الهاضم على معدل انسياب المزج. وتعتمد التصاميم النموذجية على معدلات إجمالي الدوران البالغة 30 min إلى 60 min.

هضم ثنائي المرحلة

يقوم في هذه العملية هاضمان على التسلسل، بفصل وظائف الاستقرار الحيويّ عن التثخين والحفظ الثقالي، كما هو مبين في الشكل 11-58. تُمزج تماماً وتُسخن وحدة المرحلة الأولى ذات المعدل العالي لتحقيق تحلّل بكتيري نموذجي. وتتوفر هذه الأنظمة للتركيب إما بخزانات ذات غطاء ثابت أو عائم. وباستخدام الغطاء العائم، فإنه ما من حاجة لإزالة الحمأة المهضومة بشكل متزامن من التغذية بالحمأة الخام، كما يتطلّب الحال في خزانات الغطاء المثبت. وعلى أيّ حال، فإنه لا يمكن للحمأة أن تُثخّن في عملية ذات معدل عال نظراً إلى أن المزج المستمر لا يسمح بتشكُّل جزء طاف. وتركيز المواد الصلبة في الحمأة التي تُطرح من تركيزه في إمدادات الحمأة الخام، وذلك بسبب تحوّل المواد الصلبة الطيّارة إلى غازات ونواتج نهائية.



شكل 11-58 يتم إنجاز الهضم اللاهوائي ثنائي المرحلة في خزانين على التسلسل. (أ) خزان المرحلة الأولى الموجود إلى يسار الصورة ممزوج كلية لتحقيق هضم نموذجي. المرحلة الثانية ذات غطاء من قبة غازيّة، وهي للتثخين الثقالي وتخزين الحمأة المهضومة. (ب) صورة لهاضمين ثنائي المرحلة في **Northeast Wastewater Treatment Facility .in Lincoln. Nebrasaka**

ينبغي أن يكون للهاضم ثنائي المرحلة إما غطاءً أو قبّةً غازيّة وأن يكون هناك استعدادات مسبقة لسحب الجزء الطافي. وتكون هذه الوحدة عموماً بلا تسخين، وذلك تبعاً للمناخ المحلي وللاستقرار الذي تم إنجازه في المرحلة الأولى. وبتقليل الاضطراب الهيدروليكيّ في الخزان إلى الحد الأدنى، فإن كثافة الحمأة المهضومة وصفاء الجزء الطافي سيزدادان. وفي بعض المحطات يكون الهضم الثنائي ذا مزايا، بينما يكون التشغيل التقليدي أفضل في محطات أخرى. وتتضمن العوامل المقرَّرة في ذلك حجم محطة المعالجة، ومرونة عمليات التعامل مع الحمأة، وطريقة الطّرح النهائي للمواد

الصلبة، والطاقة التخزينية المطلوبة، والعنصر المشترك في ما بين الظروف المناخية. ومن أجل المحطات الكبيرة التي تضم عدداً من الهاضمات، يقدم التشغيل بالتسلسل استعمالاً أفضل لطاقة الهاضم، ولكن في المحطات الصغيرة ذات الإشراف المحدود، فإن التشغيل التقليدي يكون غالباً أكثر قابلية للتطبيق.

تحديد حجم الهاضم

في ما مضى كان يتم تحديد حجم خزّانات هاضم تقليدي وحيد المرحلة على أساس حمولة عدد السكان المكافئ على محطة المعالجة. وكان يتم تثبيت طاقة الهاضم المسخن للمعالجة في محطة ذات مرشح تقطّري تعالج مياه صرف محلية على قيمة 4 cu ft ($0.11\ m^3$) للفرد لحمولة التصميم. وقد كانت تُزاد متطلبات الحجم الكلّي لخزان الحمأة الأولية والثانوية إلى 6 cu ft ($0.17\ m^3$) للفرد. ومازالت هذه القيم تُستخدم إلى اليوم كقيم إرشادية لتحديد حجم الهاضمات في منشآت المعالجة الصغيرة. ويمكن حساب طاقة الهضم الإجمالية لتشغيل عملية وحيدة المرحلة تقليدية باستخدام المعادلة 11-50. ويتطلب تطبيق هذه المعادلة معرفة خصائص كلٍّ من الحمأتين الخام والمهضومة.

$$V = \frac{V1 + V2}{2} T_1 + V_2 \times T_2 \qquad \textbf{(50-11)}$$

V = طاقة الهاضم الإجمالية، غالونات، (أمتار مكعَبة)

V_1 = حجم الحمأة الخام اليومية المستعملة، غالونات باليوم، (أمتار مكعَبة باليوم)
V_2 = حجم الحمأة المهضومة المتراكمة، غالونات باليوم، (أمتار مكعَبة باليوم)
T_1 = الفترة الزمنيّة المطلوبة للهضم، يوم (30 يوما تقريباً لدى درجة حرارة 85°F إلى 90°F أو 30°C إلى 35°C)
T_2 = الفترة الزمنية المطلوبة لتخزين الحمأة المهضومة (يوم).

يعتمد الحجم المطلوب لوحدة معدل عال في نظام هضم ثنائيّ المرحلة على حمولة أعظمية من المواد الصلبة الطيّارة وزمن احتفاظ أدنى. وفي التصاميم الجديدة تكون عموماً الحمولة الأعظمية المعتمدة المسموح بها هي lb VS/cu ft/day 0.08 (g/m^3 . d1300) وزمن أدنى للاحتفاظ بالمحلول يبلغ 15 يوم. وتحت هذه الحمولات ولدى درجة حرارة 95°F، يكون انخفاض المواد الصلبة الطيّارة 50% على الأكثر. ولم تثبت قرائن تصميم محدّدة لخزانات المرحلة الثانية في الأنظمة المعدل العالي، نظراً إلى كون متطلبات الحمأة المهضومة ومتطلبات تثخينها تعتمد على الإجراءات المحلية للطرح النهائي للحمأة.

إقلاع الهاضمات

إن الهضم اللاهوائي عملية معقدة الإقلاع نظراً إلى بطء معدل النمو ولحساسية البكتيريا الشاطرة للأحماض والمشكلة للميثان. فضلاً عن ذلك فإن عدد هذه العضويات المجهرية ضئيل جداً في الحمأة الخام.

إن الإجراء العادي للإقلاع هو ملء الخزان بمياه صرف وإضافة حمأة خام بمقدار عُشر معدل التصميم تقريباً. فإن استخدمت بضعة غالونات من الحمأة الجاري هضمها من قبل هاضم قيد التشغيل كبذرة بداية التشغيل، فإن العملية الجديدة ستكون قيد التشغيل في غضون بضعة أسابيع. ولكن إن توفرت حمأة خام فقط، فإن تطور عملية حيوية قد يستغرق شهوراً. والإضافات الحذرة من الجير مفيدة في المحافظة على pH قريبة من 7، ولكن قد تتسبب إضافات خاطئة في تغيرات حادّة ومؤذية للبكتيريا. وبعد إنتاج الغاز وثبات تركيز الأحماض الطيّارة، يزداد معدل التغذية بالحمأة تدريجياً عبر زيادات صغيرة حتى الوصول إلى حمولة كاملة. تتضمن المراقبة اليومية لهذه العملية رسماً بيانياً لإنتاج الغاز في وحدة مساحة الحمأة الخام المغذاة، والنسبة المئوية لثاني أكسيد الكربون في الغازات، وتركيز الأحماض الطيّارة في الحمأة الجاري هضمها.

مثال 11-18

هاضم حمأة لاهوائي يعمل لدى معدل تغذية قدره lb VS/1000 cu ft/day 0.06، ذو إنتاج جيد للغاز وإنقاص جيد للمواد الصلبة الطيّارة. تعطّل مرجل الحمأة الخارجي وبقيَ ستة أسابيع دون إصلاح. وخلال فترة توقُّف المرجل، بقيَ معدل التغذية بالحمأة كما كان عند التعطل، بينما حدث نقص ملحوظ في إنتاج الغاز عند انخفاض درجة حرارة الحمأة الجاري هضمها من $95^{\circ}F$ إلى $75^{\circ}F$. وعندما عاد المرجل للعمل ازدادت درجة حرارة الهاضم بسرعة حتى رجعت إلى $95^{\circ}F$ مع زيادة أولية مفاجئة في التحوّل إلى غاز. ولكن بعد بضعة أيام من التشغيل الجديد تناقص إنتاج الغاز بشكل حادّ، وتم قياس الأحماض الطيّارة بحدود 2000 mg/l، وبدأت قيمة pH للحمأة الجاري هضمها بالانخفاض. صِف ماذا حدث للعملية الحيوية اللاهوائية.

الحل

مبدئياً، إن أعداد العضويات المنتجة للأحماض والأخرى المنتجة للميثان في حالة توازن، ونظراً إلى أنها تعمل تقريباً لدى درجات حرارة نموذجية، فإن معظم المواد الصلبة الطيّارة يتم تحوّلها إلى نواتج جانبية نهائية. وعند تعطُّل المرجل وهبوط درجة حرارة الحمأة الجاري هضمها، فإن توازناً جديداً بين أعداد العضويات سيحدث لدى كفاءة متراجعة للتحوّل للغاز، لذلك تتراكم المادة العضوية الخام في الحمأة الجاري هضمها. وفجأة تصبح هذه المواد الصلبة الطيّارة الهاجعة متاحةً أمام البكتيريا، عندما ترتفع درجة الحرارة مرة أخرى إلى $95^{o}F$. وهذه الزيادة الحادة في إنتاج الغاز ذات ارتباط بصورة أساسية بثاني أكسيد الكربون، وذلك عندما تحوّل بكتيريا المرحلة الأولى المواد الصلبة الطيّارة إلى أحماض عضوية. تحاول العضويات الشاطرة للحمض والمشكِّلة للميثان أن تستجيب للإمداد بالحمض العضوي المتزايد. على أيّ حال ستتناقص أعدادها نتيجة نقص الغذاء خلال العملية الجارية لدى درجة الحرارة المنخفضة. فضلاً عن ذلك، ولكون بكتيريا الميثان أكثر حساسيّة، فإنها ستُعاق بظروف الحمض، ومن ثم سيتناقص الناتج الكلّي للغاز. والحل هو إنقاص درجة حرارة الحمأة

الجاري هضمها إلى 75°F وزيادتها ببطء، وربما بمعدل درجة واحدة في الأسبوع، وذلك للسماح للعضويات المشكلة للميثان أن تتكيّف تدريجياً مع الإنتاج المتزايد للأحماض العضوية.

مثال 11-19

احسب السعة المطلوبة لمكافئ السكان، من أجل هاضم وحيد المرحلة ذي غطاء عائم اعتماداً على ما يأتي: 0.24lb من المواد الصلبة يسهم بها الفرد الواحد، 0.4% محتوى المواد الصلبة في الحمأة الخام، 70% تركيز المواد الصلبة في الحمأة المهضومة، 40% انخفاض المواد الصلبة الكليّة خلال الهضم، فترة الهضم 30 يوم، وفترة الحفظ 90 يوم.

الحل

باستخدام المعادلة 11-41، فإنّ الأحجام اليومية للحمأة الخام الناتجة والحمأة المهضومة المتراكمة

$$V_1 = \frac{0.24/\text{person}/\text{day}}{(7.0/100)8.34} = 0.72 \text{ gal/person/day}$$

$$V_2 = \frac{0.60 \,.\, 0.24/\text{person}/\text{day}}{(7.0/100)8.34} = 0.25 \text{ gal/person/day}$$

ومن ثم فإن سعة الهاضم اعتماداً على المعادلة 11-50

$$V = \frac{0.72 + 0.25}{2} \,.\, 30 + 0.25 \,.\, 90 = 37 \text{ gal} = 5.0 \text{ cu ft}$$

(ملاحظة: تؤكد هذه الحسابات سعة الهاضم وحيد المرحلة اعتماداً على مكافئ عدد السكان المدرجة في الجدول 11-10)

مثال 11-20

تحوي محطة مرشح تقطري هاضمين بغطائين عائمين تبلغ سعة كل منهما الكلية 30,000 cu ft بحيث تقع 20,000 cu ft منها تحت دعامات الاستناد، والـــ 10,000 cu ft الباقية تقع ما بين موضعي الغطاء المنخفض والمرتفع إلى أقصى مدى (حجم التخزين). تم ترتيب شبكة أنابيب الحمأة بحيث يمكن للهاضمات أن تعمل إما بالتوازي كهاضمات تقليدية، أو بالتسلسل كنظام ثنائيّ المرحلة. يتم تجهيز أحد الهاضمين بمازج غاز ليؤدي دور عملية معدل عالٍ للمرحلة الأولى. يبلغ الإنتاج اليومي للحمأة الخام 6400 gal، تحوي 2800 lb من المواد الصلبة ونسبة المواد الطيّارة منها 70%. أما الحمأة المهضومة فتبلغ نسبة المواد الصلبة فيها 8.0%، وتحوّل العملية 60% من المواد الصلبة الطيّارة إلى غاز. (أ) في عملية تقليدية وحيدة المرحلة بحيث تُستخدم نصف كمية الصرف في كل من الخزانين، احسب حمولة المواد الصلبة الطيّارة، والجزء الطافي الناتج، وعدد الأيام المتاحة لتخزين الحمأة المهضومة. (ب) في عملية ثنائية المرحلة، احسب حمولة المواد الصلبة الطيّارة على الخزان الأول، ومحتوى المواد الصلبة في الحمأة المهضومة التي تغادر هاضم المعدل العالي، تخزين الحمأة المتاح في النظام.

الحل

(أ) في عملية تقليدية وحيدة المرحلة

VS المُستخدم في كل من الخزانين: $(0.70 \,.\, 2800)/2 = 980 \text{ lb/day}$

الحمولة بحالة هبوط الأغطية: $\dfrac{980 \text{ lb VS/day}}{20{,}000 \text{ cu ft}} = 0.049 \text{ lb VS/cu ft/day}$

الحمولة بحالة هبوط الأغطية: $\dfrac{980 \text{ lb VS/day}}{30{,}000 \text{ cu ft}} = 0.033 \text{ lb VS/cu ft/day}$

$$\frac{\text{حجم الجزء الطافي}}{\text{يوم}} = \frac{\text{حجم الحمأة الخام } (V_1)}{\text{يوم}} - \frac{\text{حجم الحمأة المهضومة } (V_2)}{\text{يوم}}$$

$V_1 = 6400 \text{ gal}$

$$V_2 = \frac{\text{المواد الصلبة الطيّارة المتبقية + المواد الصلبة الثابتة}}{(\text{محتوى المواد الصلبة}/100)8.34}$$

$$V_2 = \frac{0.3 \cdot 2800 + 0.4(0.7 \cdot 2800)}{(0.8/100)8.34}$$

$V_2 = 2400$ gal

إعادة الجزء الطافي: 6400 – 2400 = 4000 gal/day

خزْن الحمأة المهضومة المتوفرة:

$$\frac{2 \cdot 10{,}000 \text{ cu ft} \cdot 7.48 \text{ gal/cu ft}}{2400 \text{ gal/day}} = 62 \text{ days}$$

(ب) في تشغيل ثنائي المرحلة

VS المُستخدم في خزّان المعدل العالي= 2800 · 0.70 = 1960 lb/day

الحمولة بحالة هبوط الأغطية:

(20000 ·7.48)/6400 = 23 days

ويكون الحجم في حالة ارتفاع الأغطية 30000 cu ft

الحمولة = 0.065 lb VS/cu ft/day

زمن الاحتفاظ = 35 يوماً

ومحتوى المواد الصلبة في الحمأة المهضومة التي تغادر المرحلة الأولى لهاضم معدل عالٍ (معادلة 11-41) معطىً بالعلاقة

$$S = \frac{0.3 \cdot 2800 + 0.4(0.7 \cdot 2800)}{6400 \cdot 8.34/100} = 3.0\%$$

(ملاحظة: تحوي الحمأة الخام 5.2% مواد صلبة. تنخفض النسبة المئوية للمواد الصلبة إلى 3.0% في هضمٍ عالي المعدل، نظراً إلى أنه يتم تحويل المواد الصلبة الطيّارة إلى غاز، بينما لا يتم سحب الجزء الطافي لتثخين الحمأة المهضومة.

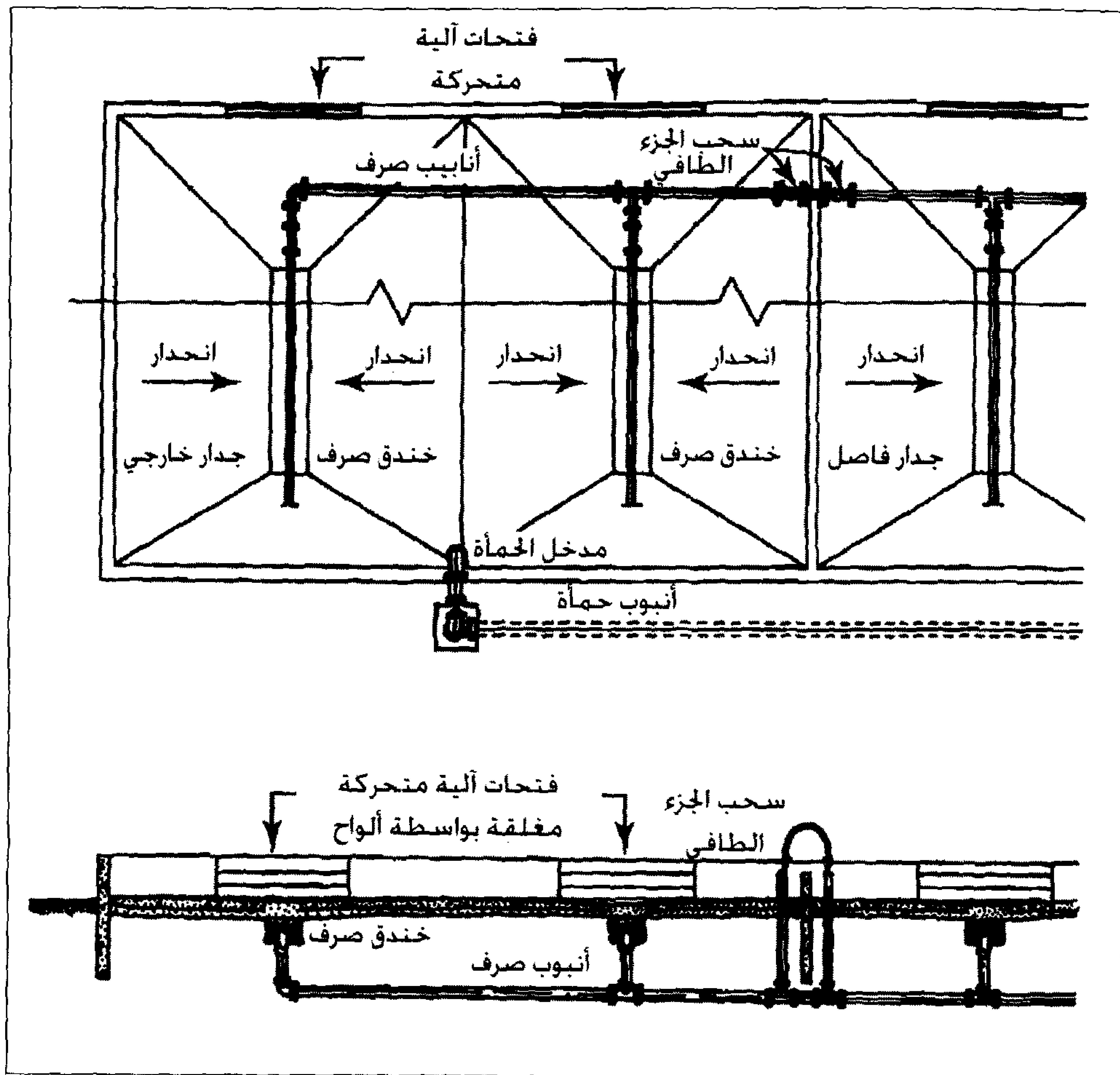
يبلغ تخزين الحمأة المهضومة، المتاحة فقط في خزان المرحلة الثانية، 31 يوماً. وهذا التراجع في سعة التخزين في الواقع نقطة ضعف للهضم عالي المعدل مقارنةً بالتشغيل بالتوازي والذي يسمح بتخزين لمدة 62 يوماً).

طبقة التجفيف بالهواء

استخدم التجفيف بالهواء الطلق لحمأة مهضومة لاهوائياً منذ بدء اتباع طريقة هضم الحمأة. والتصميم القياسي هو مجموعة تتكون من طبقة رمل ثخانتها 12 إنشاً، يأتي تحتها طبقة من الحصى المتدرِّجة تحيط بأنبوب ارتشاح سفلي مثقَّب أو من القرميد. يتم تقسيم الطبقات الكبيرة بجدران بيتونية، ويسمح أنبوب ذو فتحات ببوابات خارج من الهاضمات، بتوزيع الحمأة بشكل مستقلٍّ إلى كل خلية. يُعاد الراشح المجمع في أنابيب الارتشاح السفلي إلى الحفرة الرطبة للمحطة للمعالجة مع مياه الصرف الخام. إن تنظيف كعكة الحمأة الجافة أمر شاق، إذ ينبغي تحميلها بالرفش وعربات اليد لنقلها بالشاحنات. تتسبب محاولات استخدام المعدات الميكانيكية بخسارة كبيرة لكميات الرمل واضطراب حصى الارتشاح السفلي.

وفي تصميم جديد، يتم إنشاء طبقات التجفيف للسماح باستخدام الجرّارات مع مقطورة أمامه لكشط كعكة الحمأة وقلبها في الشاحنة. ويظهر الشكل 11-59 ترتيبات طبقات التجفيف مع سطوح مرصوفة للسماح بإزالة ميكانيكية للكعكة الجافة، والسمات الأساسية لهذه الطريقة هي: (أ) جدران عازلة للمياه ترتفع .in 18 إلى .in 24 فوق سطح الطبقة، (ب) فتحة في نهاية الجدار تغلق بواسطة حشر ألواح خشب، وذلك للسماح بدخول الجرّار ذي المقطورة الأمامية. (ج) خنادق صرف متموقعة مركزيّاً، مملوءة بطبقة رمل خشن مدعَّمة، فوق مرشح حصوي يحوي أنبوب ارتشاح سفلي مثقَّب. (د) منطقة مرصوفة على جانبي الخندق بميل يبلغ 3-2% لتأمين صرف جاذبي، و(هـ) مدخل للحمأة من أحد النهايتين، وسحب للجزء الطافي من النهاية الأخرى. تبلغ طول الطبقات المفردة ft 100 وعرضها ft 20. تتم إجراءات التشغيل بفرش حمأة مهضومة بثخانة .in

12 أو أكثر، وسحب الجزء الطافي بعد ترسُّب المواد الصلبة والسماح للحمأة بالجفاف. تشكِّل حمأة مهضومة بشكل جيد، كعكةً سوداء جافّةً تماماً تتراوح ثخانتها بين 3 in. و5 in. وذات شقوق أفقيّة ناتجة عن التقلُّص.



شكل 11-59: طبقات هواء طلق لتجفيف حمأة مهضومة على سطوح مرصوفة للتمكن من الإزالة الميكانيكية للكعكة الجافة. يفصل الماء بواسطة ترسيب الجزء الطافي وصرفه إلى خنادق، ومن تم التبخير (موافقة من HDR Engineering, Inc.)

ومن الصعوبة تحديد أبعاد طبقات الحمأة بسبب كثرة العوامل التي تؤثِّر في زمن الجفاف. تتضمَّن هذه العوامل ظروفاً مناخيَّة وجويَّة مثل درجة

الحرارة، والهطول المطري، والرطوبة، وسرعة الرياح، إضافة إلى عوامل تتعلق بخصائص الحمأة من قبيل درجة ثباتها، ومحتوى الدهون فيها، وظروف طبقة التجفيف الرملية، وظروف أنابيب شبكة الارتشاح السفلي. والقرائن النموذجيَّة لتحديد أبعاد مساحة الطبقة هي 1 sq ft إلى 2 لكل مكافئ تصميم BOD لمحطة المعالجة، أو حمولات مواد صلبة قدرها 20 lb/sq ft/year (100 kg/m^2/year) في الولايات الشمالية وترتفع إلى 40 lb/sq ft/year في الولايات الجنوبية. يتراوح زمن التجفيف بين بضعة أيام إلى أسابيع تبعاً للصرف الثقالي للمياه من الحمأة الرطبة وللظروف الجوية المناسبة للتبخر.

التحويل إلى سماد مخلَّط

تتضمن أكثر الطرق شيوعاً للتحويل إلى سماد (Composting)، صفوف مصدات رياح، وكومة مهواة متوازنة، ومعالجة في وعاء مغلق. ويمكن لصفوف مصدات الرياح والأكوام إما أن تكون معرضة للغلاف الجوي أو محمية تحت بنية مسقوفة. يعتمد اختيار العملية والحماية، على المناخ، والمراقبة البيئية، وتوفر عوامل مثبِّتة ورابطة، واعتبارات اقتصادية. يتطلَّب تحويل كومة متوازنة لسماد بهدف تقليل أكبر للمُمرضات، المحافظة على درجة حرارة الحمأة لدى 131°F (55°C) أو ما فوقها لمدة 3 أيام. أما صفوف مصدات الرياح فينبغي أن تحافظ على درجة حرارة 131°F (55°C) أو أعلى من ذلك لمدة 15 يوماً وأن تقلَّب خمس مرات على الأقل خلال هذه الفترة.

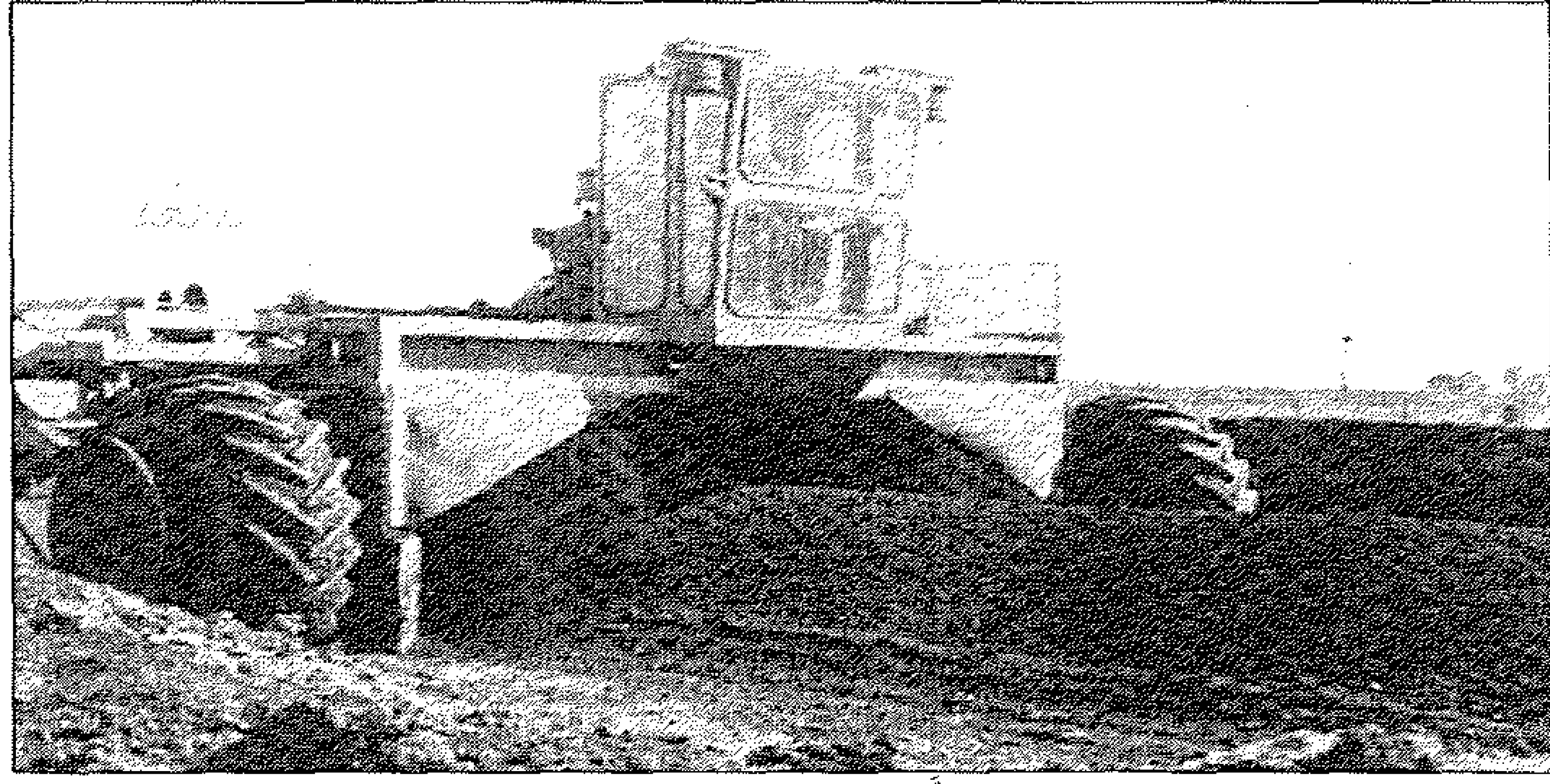
إن التحويل إلى سماد مخلَّط هو استقرار للمواد العضوية الرطبة بواسطة عمليات حيوية وذلك عندما توضع المادة العضوية في أكوام تسمح بالتهوية. إضافة إلى هضم المادة العضوية القابلة للتعفن، فإن أهداف تحويل الحمأة إلى سماد هو تدمير العضويات المُمرضة وتخفيف كتلة وحجم الصرف. والمحتوى الرطوبي النموذجي لمزيج سماد هو 50% إلى 60%. والمحتوى ما دون 40% يعيق معدل التفكك، أما المحتوى الذي يزيد على 60% فهو عموماً رطب أكثر مما ينبغي لحدوث تهوية ملائمة. يبلغ

انخفاض المواد الصلبة الطيّارة وفقدان الماء خلال التحوُّل إلى سماد 50% أو أكثر. ولتحقيق استقرار وتعقيم فعّالين، يجب رفع درجة حرارة كومة السماد المخلَّط إلى $104^{\circ}F$ ($40^{\circ}C$) لمدة 14 يوماً، إنما ليس فوق $176^{\circ}F$ ($80^{\circ}C$).

تتأثر درجة حرارة التحويل إلى سماد مخلَّط بالمحتوى الرطوبي، بدرجة التهوية، وبحجم وشكل الكومة، وبالظروف المناخية، وخاصة بدرجة حرارة الهواء والهطول المطري. والسماد المخلَّط المُصنّع عبارة عن دبال هشٍّ ذي محتوىً رطوبيٍّ أقل من 40%. وبالرغم من أن محتوى المغذيات فيه منخفض للغاية كي يمكن اعتباره سماداً إلا أنه مكيِّف ممتاز للتربة. فمثلاً عندما يمزج مع التربة، يزيد محتوى الدبال المضاف من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.

إن كعكة الحمأة التي يتم تحويلها إلى سماد مخلّط، تكون عادةً مواد صلبةً خام تم نزع الماء منها باستخدام البوليمير كمادة كيميائية مكيِّفة، على الرغم من أن الحمأة المهضومة جزئياً يمكن تحويلها أيضاً إلى سماد مخلَّط لتحقيق استقرار إضافي. إن الكعكة منزوعة الماء، والحاوية عادةً على مواد صلبة بنسبة 20% إلى 30%، رطبة، متراصّة أكثر مما ينبغي كي تكون ذات مسامية مناسبة لتهوية الجزء الداخلي من الكومة. فإن لم تكن مخلَّطة بمادة أخرى، فإن كعكة الحمأة ستغدو كتلةً كثيفةً ذات جزء داخليٍّ لاهوائيٍّ وقشرة خارجية جافة. ولذلك تُخلّط الكعكة منزوعة الماء إما مع محسنات عضوية كالروث الجاف، والقش، أو نشارة الخشب، أو عامل قابل للاسترداد يكسبها حجماً، تكون عادةً رقائق خشب بهدف إنقاص وزن وحدة الحجم وزيادة الفراغات الهوائية.

يتم ترتيب أكوام السماد المخلَّط في نظام صفوف مصدّات الرياح في أكوام طويلة متوازية. يتم إعادة مزج وتقليب هذه الصفوف بفواصل زمنية بهدف إعادة بناء السماد المخلّط، ولضمان استقرار حيوي متجانس. واعتماداً على المعدات المُستخدمة، يتباين شكل الأكوام ارتفاعاً وعرضاً. والأبعاد الشائعة هي 4 ft إلى 8 ft ارتفاعاً و8 ft إلى 12 ft عرضاً.



شكل 11-60: آلة تحويل إلى سماد مخلّط في صفوف مصدات ريحية لمزجه ومراكمته في صفوف ذات شكل مثلثي

يظهر الشكل 11-60 آلة تحويل لسمادٍ مخلّط ذاتية الحركة تشكِّل ضمن التباعد بين طرفيها، صفوف مصدّات رياح علىً شكل كومة ثلاثية ارتفاعها 6 ft أقدام وعرضها 12 ft، وهي في حالة إعادة بناء. يتم المزج بواسطة محراك يركّب بالقرب من الأرض بين صفائح جانبية متموضعة ضمن الفراغ بين العجلات.

استقرار الجير

يمكن إضافة الجير المحلمأ $Ca(OH)_2$ المسمى بالجير السريع، إلى حمأة سائلة غير مهضومة. حمأة مهضومة، أو كعكة حمأة منزوعة الماء وذلك لرفع pH وتدمير المُمرضات. لا يخفف استقرار الجير تركيز المواد الصلبة الطيّارة، ولكن لدى pH أعلى من 11، يتوقف النشاط الحيوي. فإن هبط الــ pH إلىٍ ما دون 10.5، يمكن عندها للبكتيريا أن تعاود النمو، متسبّبةً بتفكك سريع وتشكّل مقداراً كبيراً من كبريتيد الهيدروجين وروائح عضوية أخرى. يقلل الاستقرار من عدد المُمرضات البكتيرية والفيروسية بنسبة تتجاوز 99%، لكنه ذو تأثير طفيف على الأنواع شديدة الاحتمال لبيوض الديدان الطفيلية.

11-16 متطلبات المواد الصلبة الحيوية الصف A

يتطلب الصف A للمواد الصلبة الحيوية تخفيضاً إضافياً للمُمرضات إلى درجة حدود عدم إمكانية كشفها. والمتطلبات يمكن استيفاؤها (انظر الجدول 11-11) بما يأتي:

1- معالجة تحت درجات حرارة عالية.

2- تشعيع.

3- تعقيم كيميائي

4- تجفيف

جدول 11-11 : عمليات تخفيض إضافي للمُمرضات لاستيفاء متطلبات الصف A للمواد الصلبة الحيوية

عملية المعالجة	متطلبات الصف A	متطلبات المعالجة
	تحويل إلى سماد مخلّط	
كومة مهواة (تشابه صفيفة بهوية مضغوطة)، مخلطة لتسريع المعالجة. كومة صفيفة مخلطة لتسريع المعالجة في وعاء خلط	كومة مهوّاة والخلط في وعاء تحقق ≥ F °131 ف (55°C 3 أيام) تحقق صفيفات الخلط windrows ≥ 131 °F (55 °C) في 15 يوماً بتحريك الصفيفة 5 مرات	رطوبة كافية في صفيفة السماد لتعضيد الفاعلية البيولوجية وتبلغ نسبة الرطوبة النمطية 45-60%.
تجفيف بالحرارة		
مجففات سريعة – تفاعل غازات حارة مع حمأة مسحوقة. تجفيف بالبخ – حمأة مذراة تبخ داخل غرفة التجفيف مع غازات حارة . مجففات دوارة لمزج الحمأة مع الغازات الحارة.	تجفيف الحمأة إلى صلب بنسبة 90%.	مواد صلبة غير مستقرة تعطي رائحة عند ابتلالها.
هضم هوائي محب للحرارة		
مجففات سريعة- تفاعل غازاتحارة مع حمأة مسحوقة. تجفيف بالبخ – حمأة مذراة تبخ داخل غرفة التجفيف مع غازات حارة. - مجففات دوارة لمزج الحمأة مع الغازات الحارة.	تجفيف الحمأة إلى صب بنسبة 90%.	مواد صلبة جافة غير مستقرة تعطي رائحة عند ابتلالها.
مزج بالهواء أو بالأكسجين للحفاظ على الحالة الهوائية تغذية على دفعات لا تزيد على مرة في اليوم	10 أيام متتالية بدرجة °131 إلى -F 140 ف (55-60 °c)	مواد صلبة حيوية مهضومة ينبغي اختبارها للتأكد من وجود القولونيات البرازية أو السالمونيللا اس بي، عند الاستخدام
تشعيع بأشعة بيتا وأشعة غاما	جرعة ميغاراد واحد بدرجة °F 68 (20°C)	لاستيفاء متطلبات جذب ناقلات الجينات (Vectors)، تتطلب الحمأة إختزال VSS أو تعديل الـ pH، أو دمج التربة.
التعقيم بالبسترة	المحافظة على درجة حرارة الحمأة > 158 °F (70 °C)	لاستيفاء متطلبات جذب ناقلات الجينات (Vectors)، تتطلب الحمأة إختزال VSS أو تعديل الـ pH، أو دمج التربة.

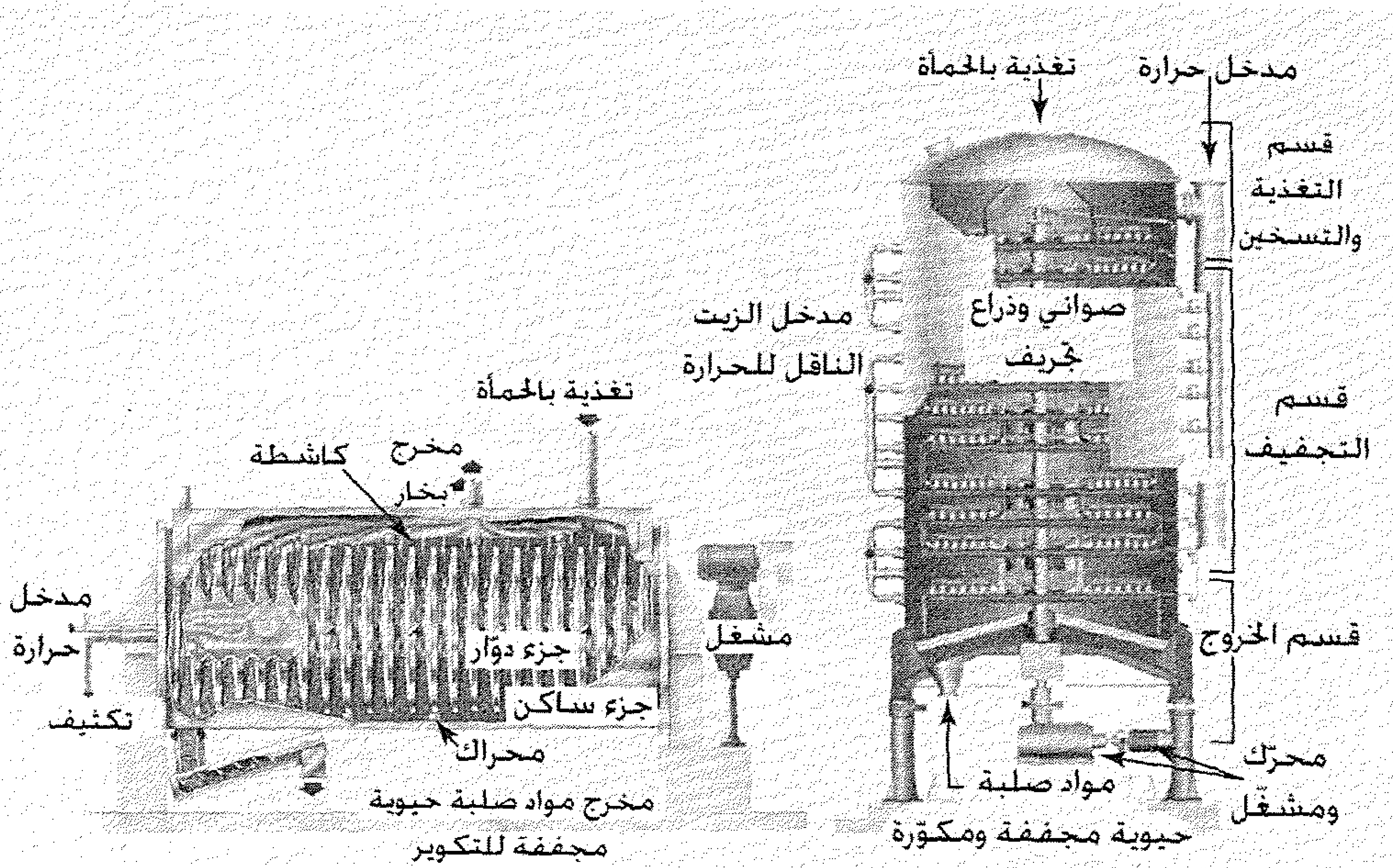
تقيّد متطلبات الصف A للسالمونيللا أس بي بأقل من 3MPN/4 g من الوزن الإجمالي الجاف، الفيروسات المعوية بأقل من 1MPN/4g، وبيوض ديدان طفيلية حية بأقل من 4g/بيضة1. وينبغي استيفاء واحد من متطلبات جذب الحشرات الناقلة،

ويكون ذلك عادةً عبر عملية تفي بمتطلبات الصف B. يمكن استخدام المواد الصلبة الحيوية للصف A بلا تقييد. ويمكن التثبُّت من أن الدليل على الالتزام بمتطلبات الصف A، من قيمة القولونيات البرازية بحيث لا تتعدى 1000 MPN/4 g، أو من قيمة للسالمونيللا أس بي بحيث لا تتعدى 3 MPN/4 g، في المواد الصلبة الجافة الإجمالية. وباستخدام MPN/g مليون 100 في الحمأة غير المعالجة، فإن معالجة الصف A تتطلب إزالة 5 log.

التجفيف بالحرارة

يستخدم النزع الميكانيكي للمياه كمعالجة مسبقة قبل تجفيف المواد الصلبة الحيوية. قد تُوجَّه المجففات أفقياً أو شاقولياً (انظر الشكل 11-61). ففي مجفّف صينية أفقيٍّ متعدد المراحل الموضح في الشكل، تُجفَّف الحمأة وتُطحَن في مرحلة واحدة. تُسخَّن الصواني الأفقية المثقَّبة بزيت حراريٍّ في حلقة إعادة تدوير. ويمكن توليد الحرارة المطلوبة للتجفيف في مرجل زيت أو بتبادل حراري مع مصدر حراريٍّ آخر. يُستخدم وعاء خارجيّ قُمعيّ يُغذى بدفعات للإمساك بكرات الحمأة الجافة. بعض هذه الكرات يُعاد تدويره عبر مغلّف، حيث تُخلط كرات الحمأة الجافة مع الحمأة القادمة المنزوعة الماء، لتشكّل طبقةً رقيقةً من الحمأة الرطبة حول الكرة. ومن ثم يتم التغذية بهذه الكرات المُغلَّفة إلى مخروط التوزيع في قمة قسم الإمداد والتسخين. تقوم مجموعة تجريف موصولة بعمود مركزي دوّار بتحريك الكرات التي يجري تجفيفها إلى الحافة الخارجية حيث تسقط إلى الصينية التالية وتدفع للخلف باتجاه المركز. تُجفَّف الحمأة عند سقوطها من صينية إلى صينية في قسم التجفيف. تُنقل الكرات المُجفَّفة المُجمَّعة في القاع باتجاه الأعلى، حيث تصل الكرات الأصغر ويُعاد تدويرها. تُبرد الكرات الناتجة إلى ما دون $105^{\circ}F$ لمنع الاحتراق الذاتي ولمنع امتصاص الرطوبة لتجنب التصاق الكرات ببعضها. تتراوح أبعاد الكرات بين 2mm و5mm يبلغ محتواها من المواد الصلبة 95%. تفي

الكرات بمتطلبات المواد الصلبة الحيوية من الصف A ويمكن أن تُعبّأ وتُباع إما كسماد أو تُحرق كوقود مصنَّع بشكل كريات.

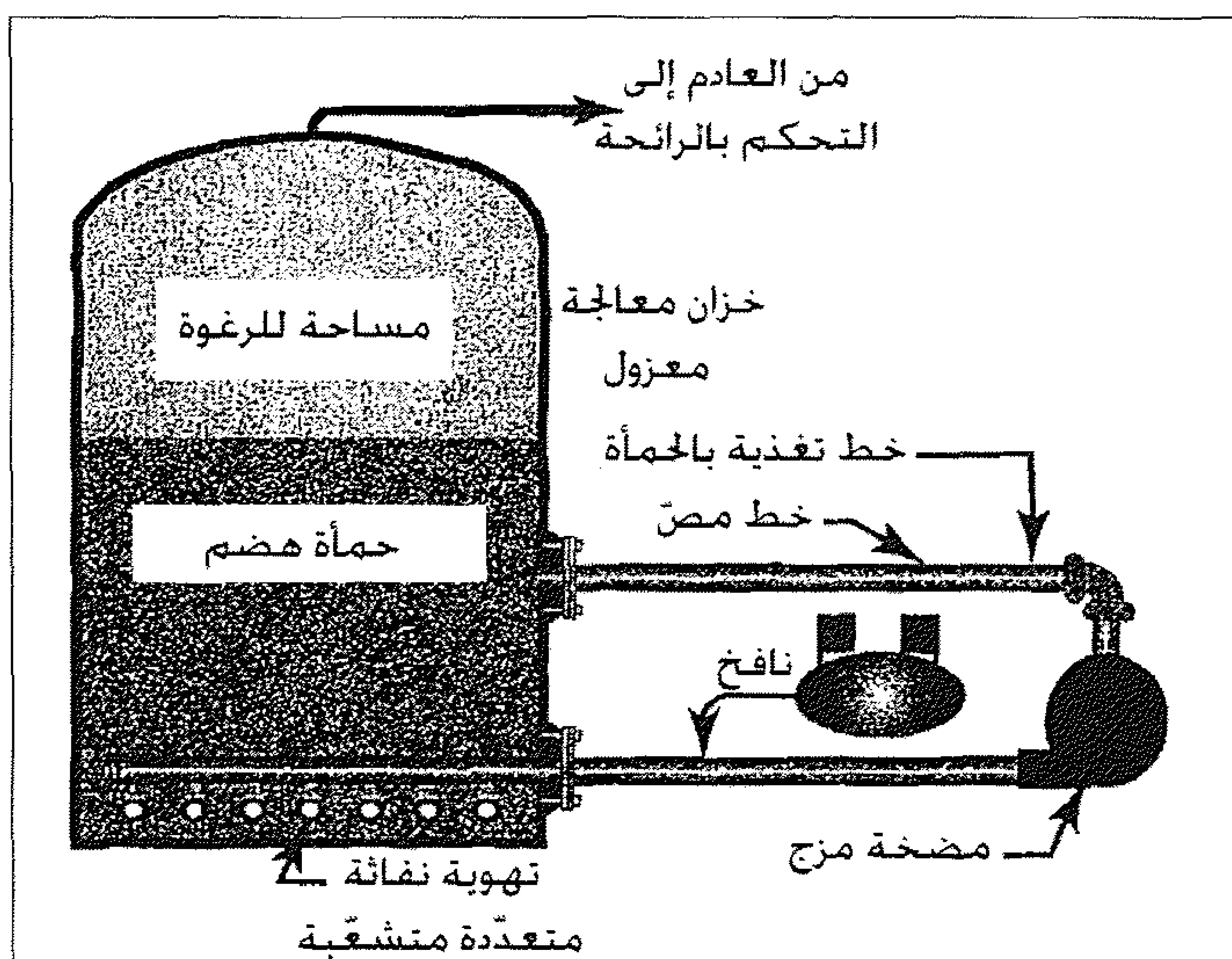


شكل 11-61: مقطع عرضي يظهر (أ) مجفف قرصي (ب) مجفف متعدد الصواني. المجفف متعدد الصواني هو نظام تجفيف غير مباشر باستخدام زيت ناقل للحرارة ينتقل عبر سلسلة من الصواني المثقّبة، يمر البخار المزال من المجفف عبر مكثف بخار. تكوّر المواد الصلبة الحيوية المجففة وتُعبأ وتُباع إما كسماد أو ككريات وقود. (موافقة من: Keppel Seghers, Inc.)

هضم هوائي محب للحرارة

الهضم الهوائي ذاتي الحرارة والمحب للحرارة (ATAD) هو عملية هوائية عالية درجة الحرارة تنتج مواد صلبة حيوية من الصف A. تتراوح حرارة التشغيل العادية بين 132° F و149°F (56°C إلى 65°C) ويحافظ عليها عادةً لفترة 4hr إلى 20hr لتعقيم الحمأة. يولِّد النشاط الأيضي حرارةً كافيةً لرفع درجة الحرارة بدون الحاجة إلى مصدر حرارة خارجي. تنجز هذه العملية في خزّان معالجة معزول بمرحلة واحدة بزمن احتفاظ يتراوح من 10 إلى 15 يوماً. تتكون المعدات الداعمة

من مضخة مزج، ونظام تهوية نفاث، ونافخ، ونظام تحكّم (انظر الشكل 11-62). تتم التغذية بالحمأة يومياً، محدثة دورة وفرة وندرة للنشاط الحيوي.



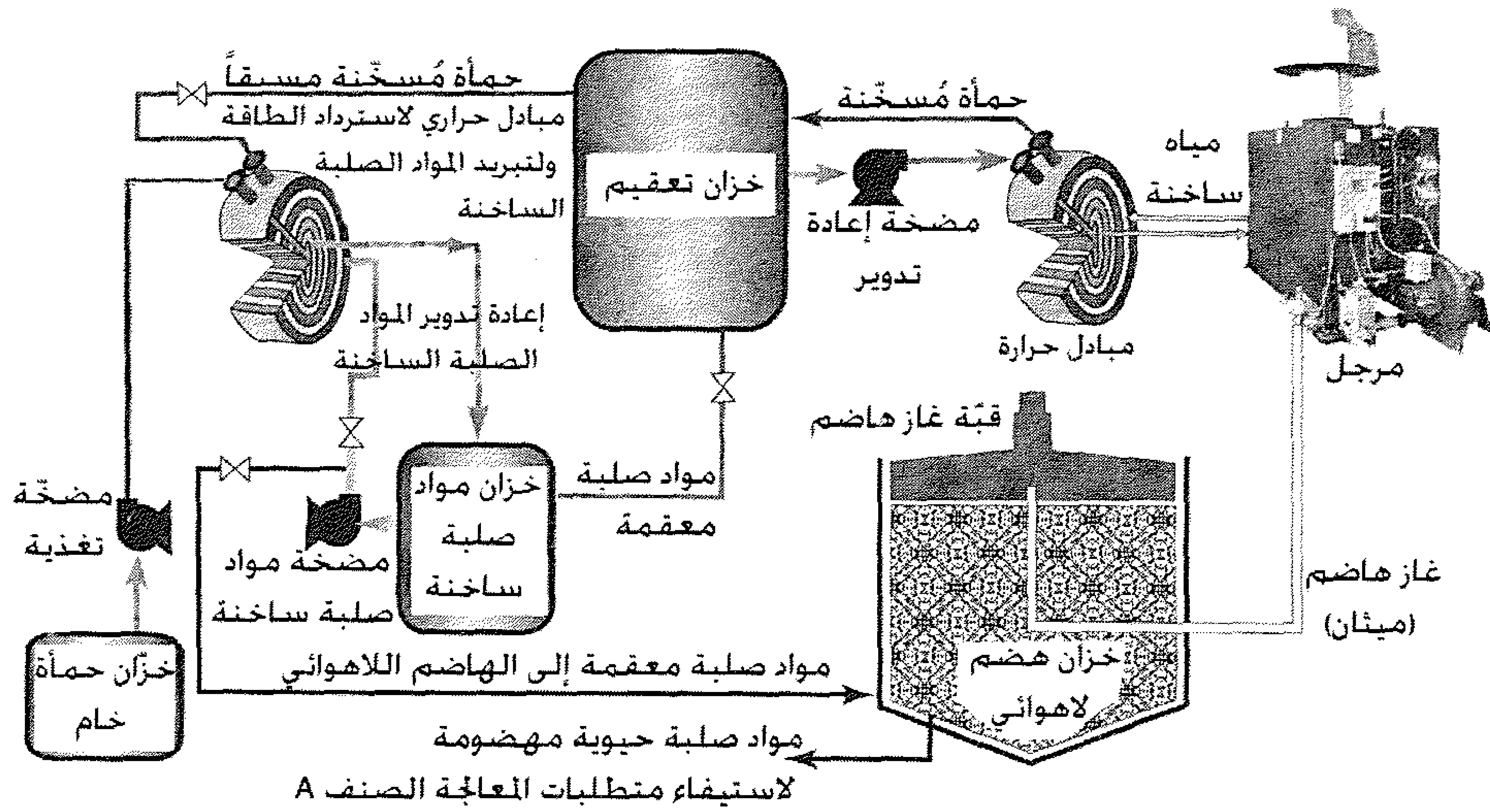
شكل 11-62: هضم هوائي ذاتي الحرارة ومحب للحرارة يتكون من وعاء معالجة معزول، مضخة مزج، ونافخ

إن الإمداد بأكسجين كاف، أمر حاسم للمحافظة على بيئة هوائية ومنع الرائحة الكريهة المرافقة للظروف اللاهوائية. إن التحكّم بالرغوة كناتج لتفكك البروتينات هام لتنفيذ تشغيل عاديٍّ. ويستخدم مستشعر لـــ كمون الأكسدة – الاختزال لمراقبة عملية المعالجة والتحكّم بالإمداد بالأكسجين. يتراوح تحطيم المواد الصلبة الطيّارة بين 45% و55%، ويمكن نزع الماء من الناتج بسهولة، معطياً كعكةً ذات محتوىً من المواد الصلبة يتراوح بين 25%-20%.

بسترة (تعقيم)

تتم البسترة (Pasteurization) بتسخن الحمأة إلى 158°F (70°C) أو أكثر من ذلك لمدة 30 min. يمكن تسخين الحمأة باستخدام مبادلات حرارية، وحقن البخار، أو بإضافة الجير بالترافق مع حرارة خارجية. يظهر الشكل 11-63 عملية بسترة

(تعقيم) كمعالجة مسبقة لهضم لاهوائي. يتم في البداية تسخين المواد الصلبة الباردة باستخدام المواد الصلبة المعقَّمة. وبذلك يُستردَ فائض الحرارة وتُخفَّض درجة حرارة المواد الصلبة كي لا تُعقَّم بدرجة حرارة قريبة من درجة حرارة تشغيل الهاضم. يُستخدم مرجل ومبادلٌ حراريٌّ منفصلان بالترافق مع وعاء تفاعل مزج، بهدف تأمين الحرارة وزمن الاحتفاظ المطلوبين للتعقيم.



شكل 11-63: مخطط للتعقيم يسبق الهضم اللاهوائي مصمم لاستيفاء متطلبات المعالجة للمواد الصلبة الحيوية من الصف A. يمكن للمواد الصلبة الناتجة أن تنتشر كسائل أو يُنزع ماؤها قبل استخدامها في الأرض

يوفر التعقيم تخفيض المُمرضات، بينما يوفر الهضم اللاهوائي تخفيف المواد الصلبة الطيّارة للإيفاء بمتطلبات تخفيف المواد الصلبة الطيّارة للصف A والسيطرة على الحشرات الناقلة.

يمكن أيضاً لجمع الهضم اللاهوائي وإضافة الجير إلى كعكة الحمأة مع حرارة إضافية تحقيق متطلبات البسترة (التعقيم) المتعلِّقة بالزمن ودرجة الحرارة. ويولِّد تفاعل الجير مع الماء المتبقي في كعكة الحمأة تفاعلاً ناشراً للحرارة، ما يرفع من درجة حرارة الحمأة. يحسِّن التكييف المسبق من تفاعل الحلمأة وبالتالي من معدل

التفاعل الناشر للحرارة. يتم نقل المواد الصلبة الحيوية من المغذي الحراري إلى خلاط حراريّ حيث تُمزج مع الجير السريع ثم تُدخل حلزونياً إلى وعاء البسترة (التعقيم) حتى تُنجز تماماً كافة متطلبات درجة الحرارة 70°C لمدة 30 min لإنتاج مواد صلبة حيوية صف A. تصبح من ثم المواد الصلبة الحيوية المعقّمة جاهزةً للتوزيع. تُضاف حرارة إضافيّة غالباً ما تكون كهربائية لضمان استيفاء درجة حرارة التعقيم.

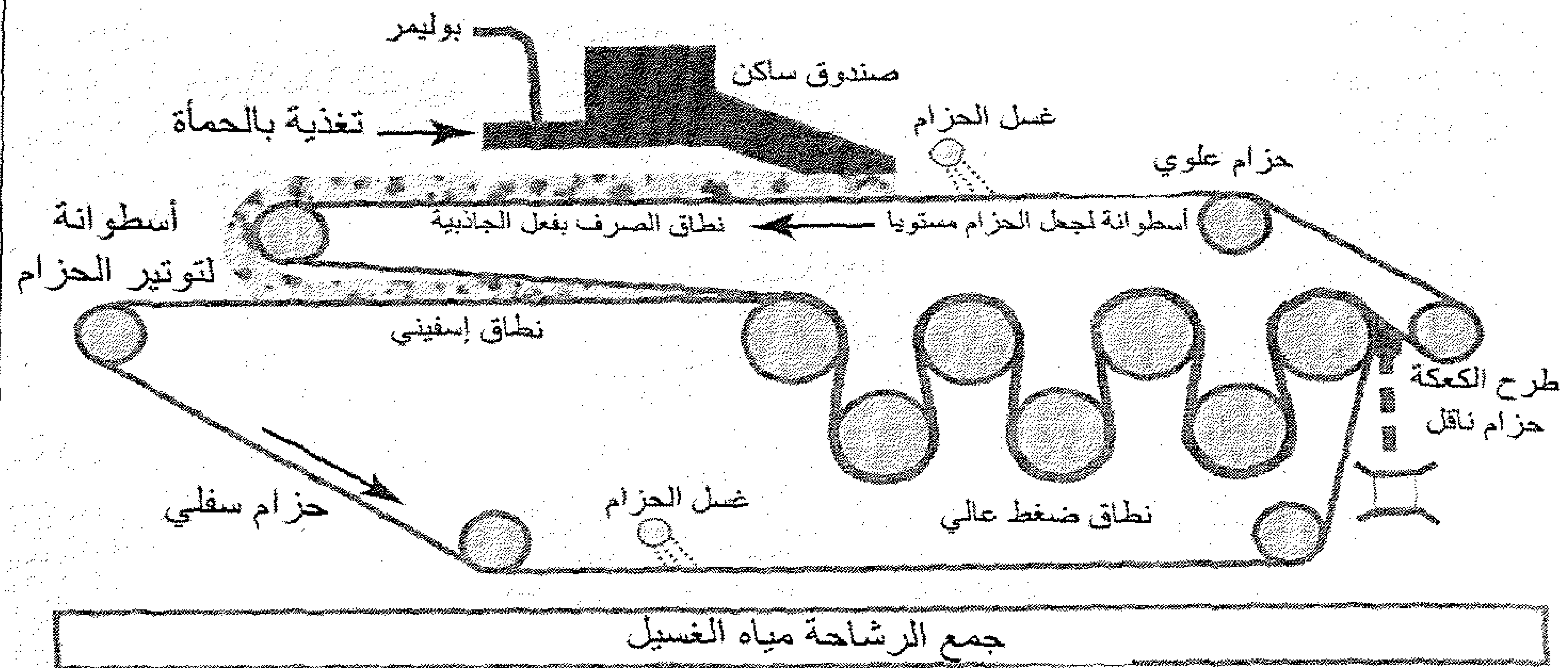
17-11 نزع الماء

خلال عملية نزع ماء (Dewatering) الحمأة، تتم إزالة الماء من الحمأة بهدف تركيز المواد الصلبة الموجودة، تتسبب مساعدات ميكانيكية مثل الترسيب، وإخلاء الهواء أو الضغط، بزيادة معدل الصرف وكمية الماء المحررة من الحمأة. ولكن يتم التوصل إلى أفضل إنجاز فقط عبر تحسين كلا المعالجة الكيميائية وتشغيل المعدات الميكانيكية.

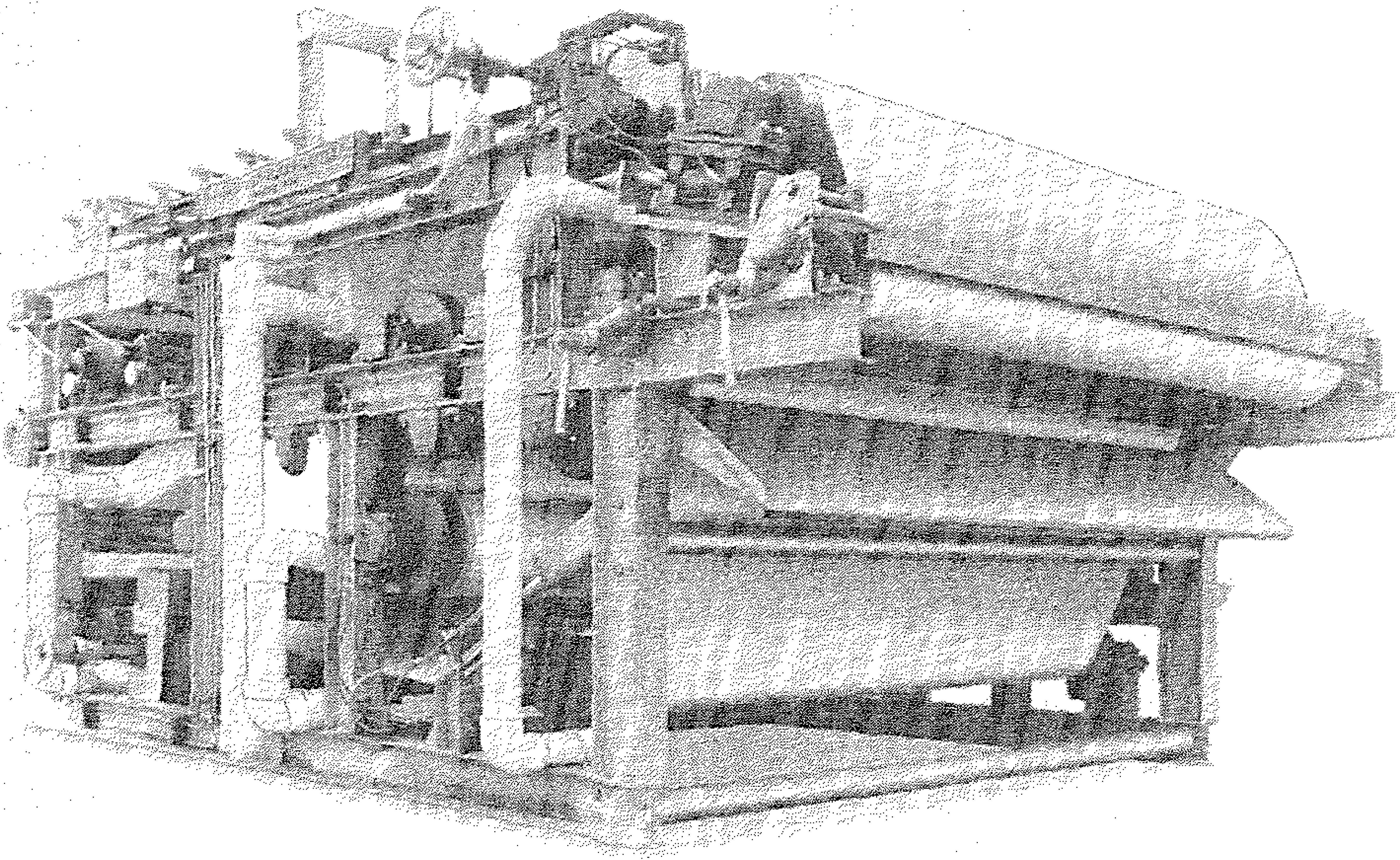
ترشيح الضغط

يعتبر كل من ضاغطيّ مرشح الحزام ومرشح الصفيحة والإطار، مرشحيّ ضغط. بالرغم من أن كليهما يستخدمان في نزع ماء حمآت مياه الصرف، إلا أن مرشح الحزام أكثر انتشاراً نظراً إلى توفره بأحجام صغيرة، وإلى استخدامه البوليميرات في تكدُّر الحمأة، وإلى كونه أرخص سعراً، وأقل كلفة تشغيل.

يُستخدم مرشّح الصفيحة والإطار الموصوف في 7-32، بصورة أساسية لنزع ماء الحمآت الكيميائية. وهناك آلات كبيرة تستخدم كلوريد الحديديك والجير أو البوليمير لتكييف الحمآت العضوية قبل نزع مائها. وقد اشتهرت ضواغط الصفيحة والإطار بإنتاجها كعكات جافة متراصّة للغاية، ومن ثم يمكن إثبات أهليتها اقتصادياً لنزع الماء من حمأة مياه الصرف قبل حرقها، أو طرحها في الأرض أو شحنها إلى مسافات بعيدة.



(أ)



(ب)

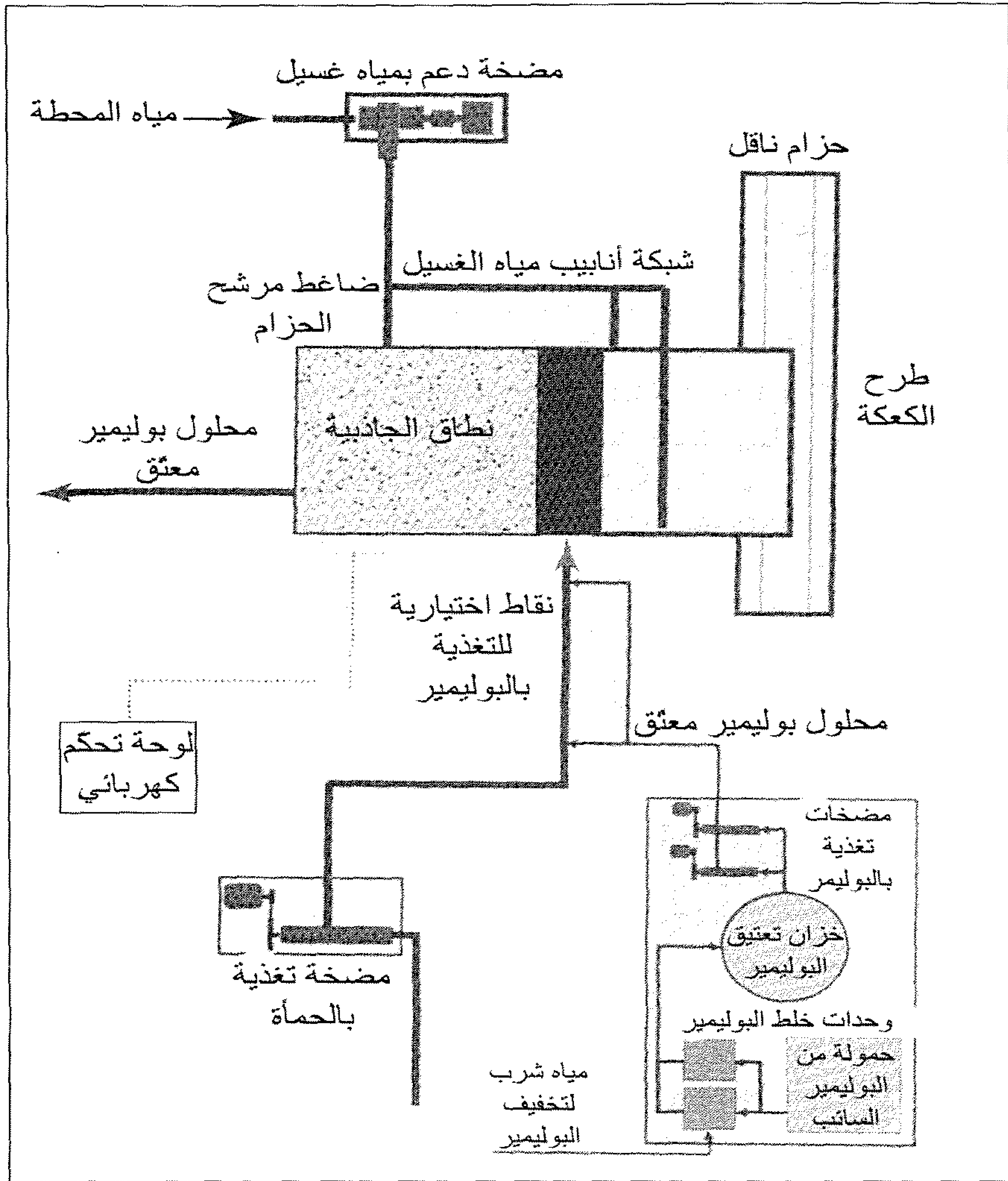
شكل 11-64: مخطط تشغيلي وصورة لضاغط مرشح الحزام مع حزامين مستمرين لنزع الماء بالثقالية وبالضغط بأسطوانات موحّدة القطر (موافقة **Ash brook Corporation**)

وصف ضاغط مرشح الحزام

لضاغط مرشح الحزام حزامان مساميان مستمران يمران فوق سلسلة من الأسطوانات لاعتصار الماء خارج طبقة الحمأة بين الحزامين. والشكل 11-64

مخطط تشغيليّ إضافة إلى صور ضاغط حزام. وبعد إضافة بوليمير لتكدّر المواد الصلبة، تُضاف الحمأة الرطبة بمعدل متجانس إلى الحزام العلوي عند بداية نطاق الصرف الثقالي – المشابه لمثخن الحزام الثقالي. يتم تدعيم الحزام في هذا النطاق على هيكل مفتوح للسماح للماء الذي فُصِل عن الحمأة بواسطة الثقالة بالرشح عبر الحزام المسامي إلى وعاء جمع. وبعد فصل وإزالة ما يقارب نصف كمية الماء من الحمأة في نطاق الثقالة، تسقط الحمأة على الحزام السفلي وتُضغط تدريجياً بين الحزامين عندما يقتربان من بعضهما البعض في النطاق الإسفيني المشكِّل للكعكة. ويمر حزامان مساميان مستمران فوق سلسلة من الأسطوانات لاعتصار الماء خارج طبقة الحمأة بين الحزامين. يمر الحزامان بعد ذلك على سلسلة من الأسطوانات لنزع الماء تحت ضغط عال باعتصار الماء خارج طبقة الحمأة عبر الحزامين. يمكن أن تكون أسطوانات نزع الماء إما مسطحة بسيطة أو مثقَّبة ومصنَّعة من مواد مقاومة للتآكل. وأداة توتر الحزام، وأداة توجيهه باستقامة، وأسطوانات دفع مغلّفة كلها بمطاط لتفادي انزلاق الحزام. تُجرف الكعكة من على الحزام بمجداف كاشط مثبت على كلا الحزامين. وتتباين الميزات الأساسية لضواغط مرشح الحزام تبعاً للجهات المصنّعة. يظهر الشكل 11-65 رسماً تخطيطياً لنظام ضاغط مرشح الحزام. ويوصى بنظام منفصل كامل للمعدّات المساعدة لكل ضاغط في تركيبات الضواغط المتعددة، بالرغم من أن المرافق الكبيرة سيكون فيها تغذية مشتركة بالبوليمير، ووسيلة نقل وإخراج الحمأة منزوعة الماء من عدد من الآلات. يجب أن تتم التغذية بالحمأة بمعدل متجانس.

إن توفر مشغل متعدد السرعة لمضخة التغذية بالحمأة أمر ضروري، ويوصى أن تكون طاقة الضخ أعلى من حمولة التصميم الهيدروليكية بنسبة 25% إلى 50%. تتشابه الأداة المساعدة في الترسيب مع ضواغط الصفيحة والإطار، وبخاصة في ما يتعلق بنظام التغذية بالبوليمير .



شكل 11-65: رسم تخطيطي يظهر المكوّنات الأساسية لنظام ضاغط مرشح الحزام يحوي نظام تغذية بالبوليمير

البوليمير والأنظمة المساعدة

تُصمّم معدات الإعداد والتغذية بالبوليمير بمرونة تسمح بتغييرات معدل التغذية بأنواع مختلفة من البوليميرات. تحتوي البوليميرات الجافة على نسبة 95% من المواد الصلبة النشيطة، وينبغي أن تُرطب بحرص وتُعتّق لتنشّط جدائل البوليمير وتفككها. يضم مستحلب البوليمير مواد صلبة بوليميرية نشيطة بنسبة 25% إلى

50% مشحونة بزيت حامل. وعندما يمزج البوليمير بالماء، يتفكك بسرعة ويمكن أن يُغذّى مباشرة من وحدة الخلط أو يُعتّق قبل استخدامه. ويوصى بالتعتيق من أجل إنجاز بوليميريٍ نموذجيٍّ. وتُخفف البوليميرات الجافة ومستحلب البوليميرات بالماء، وتُعتّق بتركيز بين 0.5% و1.0% من المواد الصلبة الإجمالية، وتُخفّف بعد التعتيق لتركيز 0.2% إلى 0.5%. يمكن شراء البوليميرات الجافة ومستحلب البوليميرات بأوزان جزيئية متنوِّعة. تُستخدم البوليميرات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة للحمأة. ويُعَد بوليمير مانيك (Mannich) من كسارات بوليمير تُربط كيميائياً ببعضها البعض لتشكل جدائل أطول. ونظراً إلى كونها محتواة في الماء، فتحتوي البوليمير تقليدياً على 2% إلى 8% من مواد بوليميرية صلبة نشيطة، وجُلّ ما تحتاجه من أجل التغذية هو فقط التخفيف إلى 0.2% إلى 0.5%.

تُستخدم مياه الشرب للتخفيف والتعتيق نظراً إلى كون المواد الصلبة في المياه المعالجة سوف تبدأ بربط البوليميرات ولأن البوليميرات حساسة للتراكيز العالية من الكلور. يمكن أن يُستخدم التدفق الخارج المُعالج للتخفيف اللاحق. ينبغي أن تكون مضخات قياس البوليميرات ذات إزاحةٍ إيجابيةٍ ومزوَّدة بمشغلٍ ذي سرعاتٍ متغيّرة. يسمح عمود المعايرة المركَّب على الجزء الماصّ من المضخة، للمشغل بتقدير المعدلات الفعلية والقيام بالتعديل. ولتنظيف الأحزمة، يمكن استخدام إما مياه شرب أو مياه تدفّق خارجي من المحطة نظيفة. يتطلب الأمر مياهاً نظيفة نسبياً للإقلال من انسداد بزابيز البخاخات. ينبغي تركيب مصفاة ذات فتحات ناعمة قابلة للتنظيف في خط الإمداد بمياه الغسيل.

يتطلب الأمر مياه غسيل لكل معدات نزع ماء الحمأة ولعموم منطقة نزع الماء، وذلك لأغراض الاحتياجات المنزلية. كما ينبغي للوحة التحكُّم الكهربائية أن توفر إقلاعاً وتوقفاً أوتوماتيكيين.

ووفق جدول مبرمج، يبدأ العمل بنظام أوتوماتيكيٍّ يتحكَّم بكل خطوة من حلقة التشغيل لتأمين الإقلاع والتشغيل، والتحكُّم بالتغذية الأوتوماتيكية للحمأة والبوليمير، وطرح نقل الكعكة، والغسيل والإغلاق. يجب أن تُغلِق حالات الإنذار التغذية بالحمأة والبوليمير في حال وجود مشاكل.

تشغيل ضاغط مرشح الحزام

إن متغيرات التشغيل الأساسية لضاغط مرشح الحزام هي الحمولة الهيدروليكية أو حمولة المواد الصلبة وجرعة البوليمير. يعبَّر عن الحمولة الهيدروليكية بالغالونات بالدقيقة من التغذية بالحمأة لكل متر من عرض الحزام (أمتار مكعبة لكل متر في الساعة). يُعبَّر عن حمولة المواد الصلبة بباوند من إجمالي التغذية بالمواد الصلبة الجافة بالــ (كيلوغرامات بالمتر في الساعة). تُحسب جرعة البوليمير بعدد الباوندات المُضافة إلى طن من المواد الصلبة الجافة الإجمالية الموجودة في الحمأة التي يتم التغذية بها (كغ/طن). إن متغيرات الأداء الأساسية هي استرداد المواد الصلبة، جفاف الكعكة، واستهلاك مياه الغسيل. يتم حساب استرداد المواد الصلبة بالمواد الصلبة الإجمالية من الحمأة التي يجري التغذية بها، مطروحاً منها المواد الصلبة المعلّقة في مياه الصرف (الرشاحة مضافة إليها مياه الغسيل) مقسومةً على المواد الصلبة الإجمالية الموجودة في الحمأة التي يجري التغذية بها. يُعبّر عن جفاف الكعكة بالنسبة المئوية الوزنية للمواد الصلبة الجافة الموجودة في الكعكة. ولإجراء مقارنة سريعة بين الحمولة الهيدروليكية للحمأة، يُعبَّر عن استهلاك مياه الغسيل، وتصريف مياه الغسيل بوحدة عدد الغالونات في الدقيقة لكل متر من عرض الحزام (أمتار مكعبة لكل متر في الساعة). يمكن لضغوط الحزام أن تنزع الماء من كل من الحمأة المثخنة والحمأة المخففة والتي يمكن أن تكون حمأة خام أو مهضومة. وأكثر خصائص الحمأة أهمية هي تركيز المواد الصلبة، وطبيعة المواد الصلبة، والتكييف الحيوي أو الكيميائي المسبق. وعندما يكون تركيز المواد الصلبة أقل من 4%، يقتصر الضغط على طاقة هيدروليكية، من حيث المبدأ مستقلّة عن تركيز المواد الصلبة. يقترح معظم المصنِّعين حمولةً هيدروليكيةً قصوى تتراوح بين 50 gpm و60 gpm لكل متر من عرض

الحزام ($11.4\ m^3/m\ .\ hr$ إلى $13.7\ m^3/m\ .\ hr$). فإن كانت التراكيز أكبر من 6%، فتتحدّد طاقة الضغط بحمولة المواد الصلبة. تؤثّر طبيعة المواد الصلبة في كلٍّ من تكدُّر البوليميرات وفي درجة نزع الماء. إن نزع الماء من المواد الصلبة الليفية التي توجد في الحمأة الأولية أسهل بكثير من نزعه من المواد الصلبة الحيوية الناعمة في حمأة الصرف المنشِّطة. يُضاف البوليمير ليكدِّر المواد الصلبة في الحمأة، وتشكيل تجمّعات تسمح بتحرر الماء، وذلك بجرعات تعتمد على خصائص الحمأة ومعدل التغذية بها. يرتبط تركيز الحمأة أيضاً بسرعة الحزام وبتوتره. وإذا كانت حمولة الحمأة عاليةً جداً، فإن نطاق الصرف الثقالي لا يقوم بتحرير ماء كافٍ، ما يسبب اندفاع المواد الصلبة الناعمة عبر نسيج الحزام وبين الأحزمة وعلى حوافها. كما يتسبَّب توتر الحزام أيضاً باندفاع المواد الصلبة. وفي التشغيل الفعلي للمحطة، تعتمد الحمولة النموذجية للمواد الصلبة على اقتصاديات التشغيل، مع الأخذ بالاعتبار الكلفتين الرئيسيّتين لاستهلاك البوليمير ولساعات التشغيل. يتم إنجاز تعديل وضبط متحوِّلات العملية لدى حمولة محدَّدة لحمأة، عبر انتقاء وضعيات أولية لجرعة البوليمير، وسرعة الحزام، وتوتره، ومن ثم إعادة ضبط هذه الوضعيات الثلاث للتوصل إلى الجفاف المطلوب للحمأة واسترداد المواد الصلبة وذلك بأدنى جرعة بوليمير.

تحديد أحجام ضاغط مرشح الحزام

يأخذ تصميم مرفق نزع ماء الحمأة بالاعتبار حجم محطة المعالجة، والظروف المتوقعة لنزع الماء، والتي تعتمد على نوعية ناتج الحمأة، وعلى معدل تغذية التصميم، وعلى زمن التشغيل. تُصنع ضواغط المرشحات بعرض حزام يتراوح بين 0.5 m و3.0 m، يقع العرض الأكثر شيوعاً بين 1.0 m و2.5 m. وما لم يتوفر تخزين مناسب للحمأة، فإنه يجب تركيب ضاغطين على الأقل بحيث يمكن لأحدهما أن يعمل، بينما يكون الآخر خارج الخدمة للصيانة وتغيير الأحزمة أو لتغيير المكوِّنات الميكانيكية كأسطوانات التحميل. يمكن أن يكون زمن التشغيل في المحطات الصغيرة، 7 ساعات في اليوم، بينما في المحطات الكبيرة يمكن للضاغط أن يعمل بين 15 و23 ساعة في اليوم. وتسمح هذه الجداول بساعة للإقلاع والتوقف.

ومتحوّلات التشغيل النموذجي لضغط المرشح على حمأة مياه صرف مدرجة في الجدول 11-12. وحمولات المواد الصلبة تضم كلاً من تركيز التغذية بالمواد الصلبة والحمولة الهيدروليكية. فعلى سبيل المثال، باستخدام متوسط القيم من أجل حمأة أولية مهضومة، فإن تغذية 5% بمعدل 50 gpm، ستعطي حمولة مواد صلبة 1250 lb/m/hr. كما إن النسبة المئوية للمواد الصلبة في الكعكة ستتناقص أيضاً، وستزداد جرعة البوليمير بانخفاض تركيز المواد الصلبة في حمأة التغذية، والحمآت الحاوية على حمأة صرف منشطة. ويجب استخدام البيانات الواردة في الجدول-12 11، فقط لتقدير طاقة الضاغطات المطلوبة في التصميم. ومن أجل ضاغط من مصنِّع محدّد، تؤخذ بالاعتبار خبرة التشغيل في منشآت أخرى لنزع الماء من حمأة ذات خصائص مشابهة. وعموماً ينبغي انتقاء طاقة الضاغط بحذر في التركيبات الجديدة للأخذ بالاعتبار خطأ محتملاً في الأداء.

يمكن تقدير أحجام ضاغط مرشح الحزام لمحطة معالجة موجودة بأعلى وثوقية بإجراء اختبارات حقلية بآلة ذات حزام ضيق. ولدى معظم المصنعين ضاغط m 0.5 إلى 1 m بمقياس حقيقي موجود في مقطورة متحرّكة ممثلاً لآلات أكبر. وخلال بحوث التصميم الأولية، يمكن استخدام مقطورة مستأجرة لتقدير إمكانية نزع مياه الحمأة وللتثبت من قرائن اختبار مواصفات الأداء.

جدول 11-12: معاملات التشغيل النمطية لضاغط مرشح الحزام لحمآت مياه صرف مكدرة بالبوليمير

نمط الحمأة	المواد الصلبة في التغذية (%)	حمولة هيدروليكيّة (gpm/m)[a]	حمولة بالمواد الصلبة (lb/m/hr)[b]	المواد الصلبة في الكعكة (%)	جرعة البوليمير (lb/ton)[c]
أولية مهضومة لاهوائياً فقط	4 إلى 6	40 إلى 60	1000 إلى 1600	20 إلى 30	3 إلى 8
أولية مهضومة لاهوائياً مع حمأة صرف منشطة	2 إلى 5	40 إلى 60	500 إلى 1000	15 إلى 26	8 إلى 14

مهضومة هوائياً من دون أولية	1 إلى 3	30 إلى 45	200 إلى 500	12 إلى 18	8 إلى 14
أولية خام مع صرف منشطة	3 إلى 6	40 إلى 50	800 إلى 1200	18 إلى 26	4 إلى 10
صرف منشطة مثخنة	3 إلى 5	40 إلى 50	800 إلى 1000	14 إلى 20	6 إلى 8
تهوية موسعة، صرف منشطة	1 إلى 3	30 إلى 50	200 إلى 600	12 إلى 22	8 إلى 14

[a] 1.0 gpm/m= 0.225 m^3/m . h

[b] 1.0 lb/m/hr = 0.454 kg/m . h

[c] 1.0 lb/ton = 0.500 kg/tonne

وبعد تحديد حجم الضاغط ووضع تصميمه، يمكن اختيار المصنّع بناءً على العروض المتنافسة وعلى اختبارات الأهليّة وذلك باستخدام وحدات مقطورة. يخفف الاختبار الحقلي من مخاطر التصميم وذلك بعرض يبين كيفية إمكانية، ضاغط المصنّع المُنتَقى، تحقيق النتائج المطلوبة بمواصفة الإنجاز. ويتبقى القيام باختبار القبول بعد تركيب الضواغط المركبّة بهدف تقييمها لضمان استيفائها المواصفات.

مثال 11-21

يقوم ضاغط مرشح حزام بعرض فعّال قدره 1.5 m، بنزع الماء من حمأة مهضومة لاهوائياً بمعدل تغذية بالحمأة قدره 70gpm. أما جرعة البوليمير فتبلغ 6.0gpm بنسبة 0.20% وزناً، في حين يبلغ استخدام مياه الغسيل 50gpm. واعتماداً على التحاليل المخبرية، وجد أن نسبة المواد الصلبة الإجمالية في حمأة التغذية تبلغ 4.0%، والمواد الصلبة في الكعكة 35%، والمواد الصلبة المعلّقة في مياه الصرف (رشاحة، تغذية بالبوليمير، ومياه غسيل) 1800 mg/l. احسب معدل التغذية الهيدروليكية، ومعدل حمولة المواد الصلبة، وجرعة البوليمير، واسترداد المواد الصلبة. قارن هذه القيم بتلك المدرجة في الجدول 11-12.

الحل

الحمولة الهيدروليكية:

70 gpm/1.5 m = 47 gpm/m

(جدول 11-12، 40-60 gpm/m)

حمولة المواد الصلبة:

47 gpm/m . 60 min/hr 0.040 . 8.34 = 940 lb/m/hr

إن مجال حمولات المواد الصلبة من الجدول 11-12 يمتدّ بين 1000 lb/m/hr و1600 lb/m/hr

جرعة البوليمير

$$\frac{6.0\ \text{gpm}\ .60\text{min/hr}\ \ 0.0020\ .\ 8.34}{1.5\ \text{m}\ (940\ \text{lb/m/hr})(2000\ \text{lb/ton})} = 8.5\ \text{lb/ton}$$

إن جرعة البوليمير هذه أكبر من مجال 8-3lb/ton المعطى بالجدول 11-12. ولكن تتباين كفاءات تكدُّر البوليميرات بشكل كبير بين الماركات المختلفة. ويعتمد انتقاء البوليمير الأفضل على كلفة الطن الواحد من المواد الصلبة في الكعكة، لا على وزنها بالطن.

يمكن تقدير كمية الرشاحة من طرح الحجم المحسوب للكعكة من كمية التغذية بالحمأة. وبافتراض أن الثقالية النوعية تبلغ 1.05، فإن الانسياب الحجمي لكعكة الحمأة باستخدام المعادلة 11-41 بوضع عامل للجاذبية النوعية في مقام الكسر، سيكون

$$V = \frac{70\ \text{gpm}\ .\ 0.040\ .\ 8.34}{0.35\ .\ 8.34\ .1.05} = 7.6\ \text{gpm} = 8\ \text{gpm}$$

انسياب الرشاحة = التغذية بالحمأة – حجم الكعكة:

70 - 8 = 62 gpm

انسياب مياه الصرف = الرشاحة + تغذية بالبوليمير + مياه الصرف:

62 + 6 + 50 = 118 gpm

المواد الصلبة في مياه الصرف

$$\frac{118\ gpm\ .60 min/hr.\ 0.0018\ .\ 8.34}{1.5\ m} = 71\ lb/m/hr$$

استرداد المواد الصلبة:

$$\frac{940\ lb/m/hr - 71\ lb/m/hr}{940\ lb/m/hr} = 0.92 = 92\%$$

النبذ

تُستخدم النابذات (Centrifyges) لنزع الماء من الحمآت الخام، والحمآت المهضومة، وحمآت الصرف المنشطة، وذلك بالرغم من أنها ليست شائعة كضاغطات مرشح الحزام في المرافق صغيرة ومتوسطة الحجم. فالنابذات أكثر كلفةً مقارنةً بضاغطات مرشح الحزام، ولكنها أكثر اقتصادية في المرافق الكبيرة، حيث تعمل 24 ساعة في اليوم على مدة 5 أيام في الأسبوع. لقد قُدّمت في الفقرة 7-31 مناقشة للنبذ، وعُرضت في الشكل 7-44 أنواع النابذات المُستخدمة. تُصنّع النابذات بأحجام كثيرة، من آلات صغيرة لا تتعدى 50gpm إلى آلات متوسطة تتلقى معدلات انسياب تتراوح بين 150gpm و300gpm، وصولاً إلى آلات كبيرة صُمِّمت لـــ 500gpm. والنابذات مقيّدة هيدروليكياً بتركيز مواد صلبة دون 6%، ومقيدة أيضاً بالمواد الصلبة لدى تراكيز عالية.

ينتج التشغيل النموذجي للنابذات، كعكةً ذات تركيز بالمواد الصلبة يتراوح بين 15% و30%، وذلك تبعاً لطبيعة الحمأة. ومن دون تكييف كيميائي، يكون إمساك المواد الصلبة في مجال 50% إلى 80%، ويمكن لمعالجة كيميائية مُسبقة مناسبة أن تزيد من استرداد المواد الصلبة بنسبة تتراوح بين 80% و95%. قد تُستخدم البوليميرات، وكلوريد

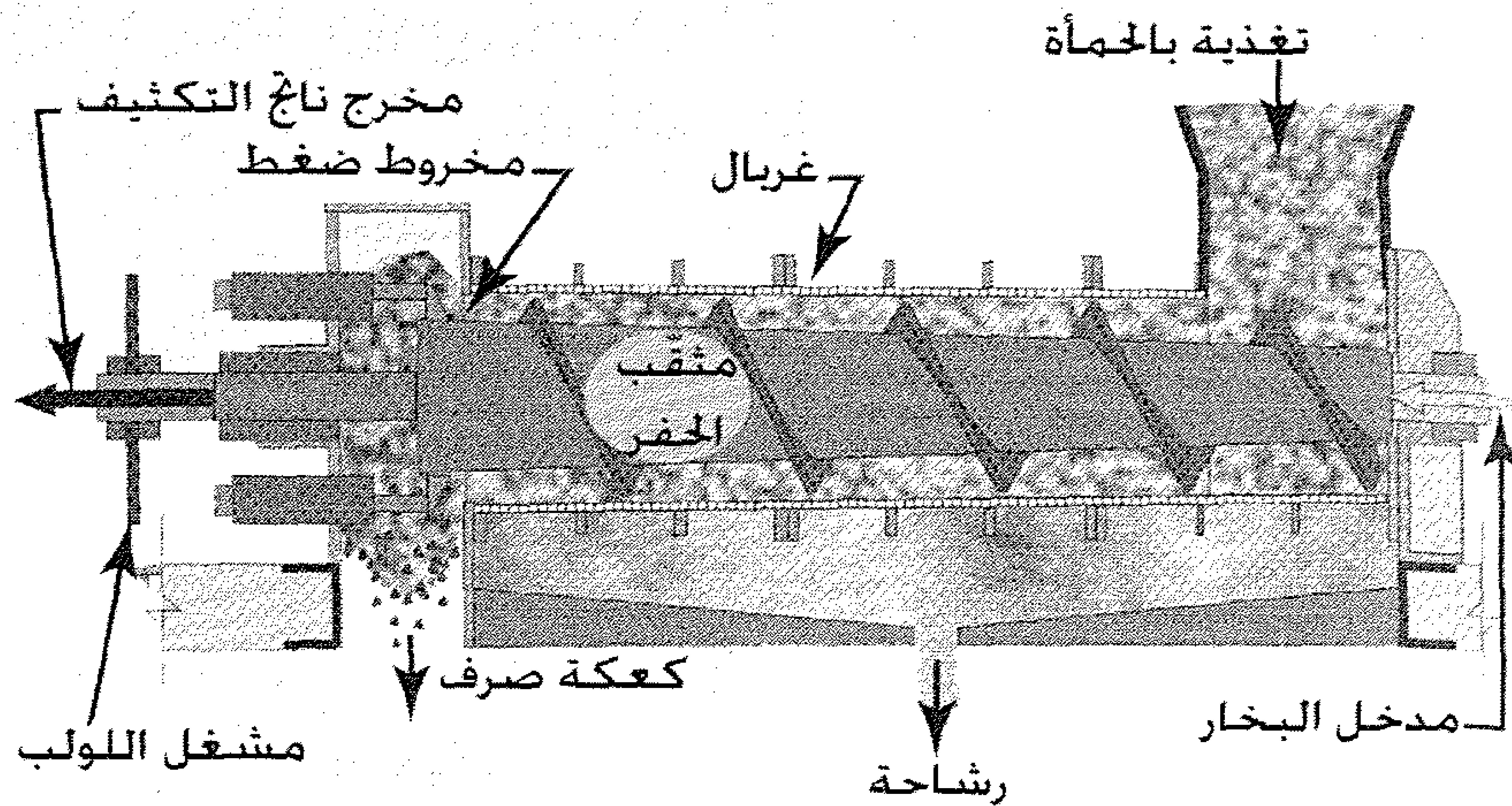
الحديديك، والجير كمكيّفات كيميائية. ويعتمد الخيار بين نبذ ترشيح الضغط على أداء واقتصادية كل منهما. وتتضمن اقتصادية الخيار الكلفة الأولية للتركيب، وتكاليف التشغيل، والتي تتضمن بدورها كلفة العمالة، والمواد الكيميائية والطاقة.

الضاغط اللولبي

يتكون الضاغط اللولبي (Screw Press) من لولب كمثقّب حفر موجود ضمن غربال. يتم إنجاز فصل الصلب عن السائل عبر إنقاص تدريجيّ للحجم المتاح للحمأة، وبالتالي زيادة الضغط ونزع مياه الحمأة في أثناء مرورها من مدخل الضاغط إلى مخرجه. يتم التوصل إلى إنقاص الحجم باستخدام عمود مستدق الطرف يزداد قطره (انظر الشكل 11-66). يحتوي الغربال على ثقوب يقلّ قطرها عن $\frac{1}{8}$ in. لُحمت بهيكل داعم. ومع زيادة الضغط، يُلحق غربال إضافي تبلغ فتحاته 1 in. للتدعيم. والبوليمير حسّاس تجاه تكدُّر الحمأة وتجاه محدودية قذف المواد الصلبة عبر فتحات الغربال. تتراوح كفاءة إمساك المواد الصلبة بين 88% و95%.

وعند نهاية حلقة الإنتاج، تُستخدم مياه الغسيل لإزالة أيّ تراكم للمواد الصلبة، ولتحسين كفاءة تجدّد الغربلة، وإنقاص احتمال صدور رائحة كريهة. إن كامل الوحدة مغلقة لاحتواء رذّاذ الماء والحمأة ضمن الغربال، واحتواء الرائحة أيضاً، وهي تعمل كحزام ضاغط معتصراً المواد الصلبة على الغربال ضمن توجيه يشبع بذلك النابذة. وتتطلب الوحدة طاقةً أقل بكثير من الطاقة التي تتطلبها النابذات.

يمكن إضافة البخار والجير بشكل اختياري، لتحسين نزع الماء من المواد الصلبة والوصول إلى نوعية المواد الصلبة الحيوية من الصف A. يتم حقن البخار بضغط 30 Psi إلى 50 Psi ضمن ممر عمود التشغيل لتسخين العمود المستدق والمسار بين المدخل والمخرج، ولنقل الحرارة إلى المواد الصلبة الحيوية. تُحسِّن إضافة الجير من خصائص نزع الماء من الحمأة وتساعد في توليد الحرارة ضمنها. تحوي الكعكة الناتجة على مواد صلبة بنسبة 30% إلى 40%.



شكل 11-66: مخطط لمقطع عرضي يظهر تشغيل الضاغط اللولبي لنزع الماء من حمأة صرف منشطة. تدخل الحمأة الممزوجة مع البوليمير إلى وعاء التغذية القمعي ويتم دفعها لولبياً إلى شلال طرح الحمأة. يتم تحرير الماء من خلال الغربال إلى الوعاء القمعي للراشح. يمكن إضافة البخار لتسخين الحمأة ولتشكيل مواد صلبة حيوية من الصف A. (موافقة من FKC Co., Ltd. / Fukoku Kogyo Co., Ltd.)

11-18 طرح المواد الصلبة الحيوية

يعتمد الطّرح النهائي للمواد الصلبة الحيوية على درجة المعالجة وعلى الفئة المحدّدة بالقانون الأساسيّ الإتحادي 40 CFR الجزء 503. وباستخدام هذه الوثائق، يظهر الشكل 11-67 الأسئلة التي تقود إلى بدائل وممارسات الطّرح المقبولة، مع خيارات طرح تتراوح بين استخدام غير مقيّد للمواد الصلبة الحيوية "لنوعية استثنائية"، وردم أرضي للمواد الصلبة الحيوية ليست من الصف B، وسلسلة من القيود لاستخدام المواد الصلبة الحيوية من الصف B.

الترميد

يستخدم نزع الماء ميكانيكياً كمعالجة مسبقة قبل حرق مواد النفايات الصلبة. يحوّل الترميد (Incineration) المواد الصلبة إلى رماد خامل يمكن التخلص منه وطرحه بسهولة. وإذا نُزع الماء منها بحيث تصل نسبة المواد الصلبة إلى 35% تقريباً، تكون العملية عادةً مكتفية ذاتياً دون أيّ إضافة من الوقود باستثناءٍ ما هو

ضروريّ للتسخين الأوليّ والضبط الحراريّ. وعموماً يتم حرق الحمأة الخام أكثر من الحمأة المهضومة بسبب قيمتها الحرارية الأعلى. لقد أثبت الفرن متعدِّد المواقد نجاحه في تجفيف الحمأة وترميدها. يتألف الفرن من هيكل فولاذيٍّ دائريٍّ يحوي عدّة مواقد مرتبة فوق بعضها البعض يصل بينها ممر شاقولي مركزي مع أذرعة معقوفة. تتم التغذية بكعكة الحمأة من قمة الموقد وتُقلَّب ببطء في مسار لولبي إلى المركز. ومن المركز تسقط إلى المستوى الثاني حيث تُدفع إلى الأطراف ومن ثم إلى الموقد الثالث حيث تُدفع مرة أخرى إلى المركز. يسمح المستويان العلويان بتبخر المحتوى الرطوبي، بينما يحرق المستوى الأوسط المواد الصلبة منتجاً حرارة تزيد على $1400^{\circ}F$، في حين يبرِّد النطاق السفلي الرماد قبل طرحه. يقوم الممر الشاقولي المركزي المجوَّف بنفث الدخان بواسطة هواء مضغوط. يتم تمرير جزء من الهواء مسبق التسخين عبر أنابيب من الممر إلى الموقد السفلي ثم يُسخَّن أكثر بالرماد الساخن وبالاحتراق في أثناء مروره إلى أعلى الفرن. يبرَّد بعد ذلك الهواء نتيجة فقدانه لحرارة تستهلك في تجفيف الحمأة القادمة. إن انسياب الهواء والمواد الصلبة للحمأة من الاتجاه المضاد يُحسِّن كثيراً من كفاءة الأداء. يتم نقل الرماد وبخار الماء مع غازات الاحتراق، ويستخدم جهاز غسل الغاز الرطب بمسار حلزوني لإزالة الرماد من الغازات المستنفدة. وأخيراً يتم فصل الرماد من الماء القادم من جهاز غسل الغاز بواسطة جهاز فصل لولبي.

الاستعمال في الأراضي الزراعية

يستعمل مصطلح المواد الصلبة الحيوية لوصف الحمأة التي تمت معالجتها بشكل صحيح لاستعمالها في الأرض. يتم طرح معظم المواد الصلبة الحيوية في مياه الصرف فوق الأراضي، إذ يستخدم حوالى ثلاثة أرباعها كمكيِّف للأرض والباقي إما يُدفن في الأرض، أو يُستخدم كتربة. تنثر المواد الصلبة الحيوية لمياه الصرف على الأراضي الزراعية كمكيِّف للتربة وكسماد. إن الطّرح السائل للمواد الصلبة الحيوية المهضومة أمر شائع حيث تقع المواقع المقبولة ضمن مسافات نقل مناسبة. يتم تنظيم استعمال حمأة مياه الصرف بالنظام الأساسي الاتحادي 40 CFP،

الجزء 503. ويغطي النظام الأساسي بيع وتوزيع الحمأة والمواد الصلبة الحيوية بشكل سائب ومُعبأ بأكياس أو بأيّ حاويات أخرى للاستعمال في مختلف الأراضي الزراعية، كأراضي المحاصيل، والمراعي، والمزارع، والغابات ومواقع الاستصلاح، ومواقع التماس مع العموم (حدائق، ومروج، وحدائق منزلية). ويعطي هذا القانون للولايات حرية التصرف في تنظيم معايير تطبيقية أكثر صرامة.

يدرج الجدول 11-13 الملوّثات العشرة التي وضعت ضوابط لها للاستخدام في الأراضي. لقد تم تثبيت الحدود القصوى لمنع استخدام تراكيز عالية للملوّثات في الأراضي. وتقيد معدلات الحمولة السنوية كمية الملوّث المُستخدمة في فترة 12 شهراً. كما تقيّد ممارسات الإدارة الاستخدام خلال الطقس الرطب، والفيضانات أو على أراض متجمّدة أو مُغطّاة بالثلج. كما ينبغي أن يكون الجريان السطحي في المواقع مُتحكّم به وذلك لمنع الحمأة من دخول الأراضي الرطبة أو أيّ مياه أخرى. إضافة إلى القيود الكيميائيّة، ينبغي أن تقتصر معدلات الاستخدام في الأراضي الزراعية، والغابات، أو مواقع التماس مع العموم، على معدلات الغطاء الزراعي في الموقع.

جدول 11-13: القيود الإتحادية (الأميركية) لاستعمال حمأة صرف أرضية مدرجة في القيد 40 CFP، الجزء 503

الملوّث	الحدود القصوى للتراكيز mg/kg	حدود معدل الحمولة السنويّة (kg/hectare/yr)
زرنيخ	75	2.0
كادميوم	85	1.9
كروم	3000	150
نحاس	4300	75
رصاص	840	15
زئبق	57	0.85
موليبدنوم	75	

نيكل	420	21
سيلينيوم	100	5.0
توتياء	7500	140



شكل 11-67: شجرة اتخاذ قرار الطّرح النهائي للمواد الصلبة الحيويّة، معتمدة من قبل 40 CFP، الجزء 503

تم وضع معايير لتخفيض المُمرضات وقيود لجذب الحشرات الناقلة، من أجل حماية الصحة العامة والبيئة. وقد قسمت المواد الصلبة الحيوية إلى فئتي صف A وصف B، وذلك اعتماداً على مدى تخفيض المُمرضات.

يمكن استخدام صف الحمأة A في مناطق الأراضي المفتوحة للعموم من دون أيّ قيود متعلقة بالمُمرضات. يعالج صف الحمأة B إلى نقطة تغدو فيها المشاكل الصحية غير محتملة الحدوث، ولكن وبسبب احتمال وجود المُمرضات، ينبغي للقيود أن تحد من التماس البشري والحيواني. ولا يمكن للمواد الصلبة الحيوية صف B أن تُباع أو تُوزَّع في أكياس أو على شكل حاويات.

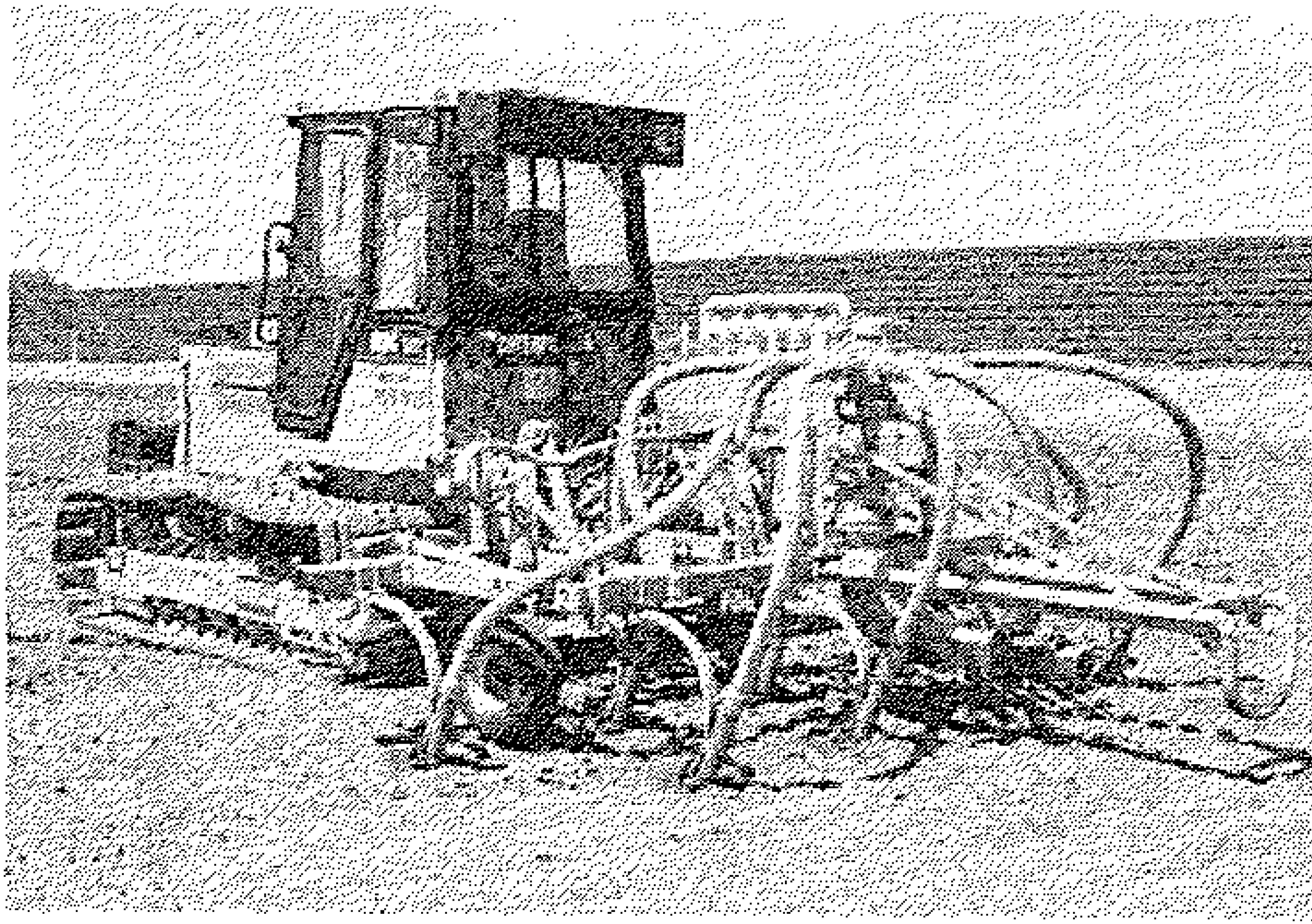
لقد فُرضت قيود مكانية تتعلق بالحصاد وتربية الحيوانات والتماس مع العموم في الأمكنة التي تُستخدم مواد صلبة حيوية صف B. تتطلّب المحاصيل الغذائية التي ينمو فيها الجزء المحصود فوق الأرض 14 شهراً منذ آخر استخدام للمواد الصلبة الحيوية صف B، و38 شهراً إن كانت الأجزاء المحصودة تحت الأرض. تتطلّب المحاصيل الغذائية والمحاصيل العلفية والمحاصيل الليفية التي لا تلامس أجزاؤها القابلة للأكل سطح التربة، أن يكون آخر استخدام للمواد المذكورة 30 يوماً قبل الحصاد. ويجب أن لا ترعى الحيوانات فيها مدة 30 يوماً بعد الاستخدام. أما التّماس مع العموم فقد قُيّد بسنة إن كان احتمال التماس مع العموم كبيراً كالحدائق وملاعب الكرة. بينما يقتصر السماح بالوصول إلى مناطق التعرُّض المتدني للعموم، مثل المزارع، والملكيات الخاصة، على 30 يوماً فقط.

إن الطرح السائل للحمأة المهضومة أكثر تطبيقاً في المحطات الصغيرة الواقعة في المناطق الريفية والمزودة بهاضمات هوائية ولاهوائية، لاستقرار الحمأة حيوياً قبل نشرها. وحتى ولو كانت كلفة النقل عالية، إلا أن بدائل فصل الجزء الصلب عن السائل على طبقات تجفيف أو بنزع ميكانيكيٍّ للمياه تكون غالباً أكثر كلفةً. يمكن استعمال الحمأة السائلة على السطح باستخدام مركبة مجهّزة بمعدّات لنشرها

أو حقنها تحت سطح الأرض باستخدام محراث إسفيني (11-68أ). وقد تُنشر الحمأة السائلة من بزابيز ثابتة أو موجودة في نظام ريٍّ محمول (11-68ب)، إن كانت الرائحة أو وجود الحشرات لا تتسبب بمشاكل.

إن الحقن تحت السطحي للحمأة المهضومة السائلة هي أكثر الطرق البيئية قبولاً، نظراً إلى أن الحمأة تندمج مباشرة مع التربة، وتقلُّل من تماسها مع الغلاف الجوي. وفي المحطات الكبيرة، يتم نزع الماء من الحمأة المهضومة بواسطة ضاغطات مرشّح حزام لتخفيف وزنها وكلفة نقلها.


(ب)


(أ)

شكل 11-68: طرق استعمال الأرض لحمأة سائلة (أ) حقن تحت باستخدام محراث إسفيني وجـرار. تـتم التغذيـة بالحمأة بخرطوم يُجر خلف الأداة (ب) استعمال السطح لحمأة مهضومة سائلة باستعمال بزباز محمول

تُحفظ كعكة الحمأة في أكوام على موقع مكشوف وتوضع فوق أرض محصودة في أوقات مناسبة باستخدام ناشرة أسمدة مزوَّدة بخفّاقة خلفية تنثر بعيداً المواد الصلبة من صندوقٍ مركَّب على شاحنة أو عربة مقفلة. بعد ذلك تُخلط المواد الصلبة للحمأة مع التربة باستخدام معزاق قرصي قبل زراعة المحصول.

يتركَّز القلق البيئي لطرح الحمأة على الأراضي الزراعية حول تلوّث المياه الجوفية والسطحية، وتلوّث التربة والمحاصيل بالمواد السامة، وانتقال الأمراض البشرية والحيوانية. وتُنجز عادةً التحاليل المخبرية على الحمأة لتحديد تركيز المواد الصلبة فيها، ومحتواها من النتروجين، والفوسفور والبوتاسيوم، ووجود المعادن الثقيلة

والكادميوم والنحاس والنيكل والرصاص والتوتياء، ومركَّبات عضوية منتقاة كالـــ بيفينيل متعدد الكلور، فيها. ولحماية الصحة البشرية فإن المحاصيل المفضَّلة هي الأعشاب العلفية، والحبوب العلفية والمحاصيل الليفية التي لا تدخل في السلسلة الغذائية البشرية. وتعتبر الأعشاب مقبولة شريطة أن يقتصر رعي الأبقار على فترة زمنية محدّدة بعد استخدام الحمأة. تُسمّد مزارع الحبوب العلفية المخصصة للاستهلاك الحيواني كالذرة عبر حراثة المواد الصلبة للحمأة إلى داخل التربة قبل زرع المحاصيل. ولضمان مراقبة بيئية مناسبة، تتم مراقبة القولونيات البرازية والمواد المغذية والملوّثات في كل من الحمأة، والمياه الجوفية والجريان السطحي. والكادميوم والعناصر الثقيلة هي أكثر الملوِّثات مدعاةً للقلق، نظراً إلى أنها تُمتص من قبل المحاصيل، ما يزيد من احتمال دخولها إلى السلسلة الغذائية البشرية. ولكن برغم هذا فإن امتصاص النبات من تربٍ تحوي كادميوم لا يحدث دائماً، وقيمة pH التربة ونمط الأنواع النباتية اعتبارات مهمة في هذا الصدد. توجد أكبر كميات الكادميوم في النباتات ذات الجذور الليفية وفي أوراق النباتات، لذا تعتبر النباتات الغذائية مثل الخضار الورقية كالخس والسبانخ ذات أكبر خطر محتمل. ويبدو أن المحاصيل العلفية ومحاصيل الحبوب تُمثل أقل خطر لانخفاض محتواها من الكادميوم. ويحدّد عادةً محتوى النتروجين في الحمأة المعدل المسموح لاستخدامها. ويتمثل القلق بتلوث المياه الجوفية بالنترات كملوث ذي ارتباط بالصحة وفق معايير مياه الشرب.

يدل معدل الاستخدام الزراعي على توزيع الحمأة على أساس الوزن الجاف، بحيث لا تزيد كمية النتروجين والفوسفور على احتياجات المحصول. الأمر الذي يحد كميتهما على المقدار المتاح للمرور تحت نطاق الجذور وكذلك إلى المياه الجوفية. لقد تم وضع القيود على الفوسفور في ولايتي ميتشيغان وفلوريدا على أساس حالة بحالة. لقد وضعت دائرة فلوريدا للوقاية البيئية قائمةً باحتياج النتروجين لأغراض تقدير المعدلات الزراعية. يتراوح الاحتياج للنتروجين خلال موسم النمو بين 100 lb/acre للفستق السوداني، وفول الصويا، والفصة (ألفا ألفا)، و 1200 lb/acre للأعشاب، و400 lb/acre للتبن أو العلف.

مثال 11-22

محطة معالجة حمأة منشطة من المدينة طاقتها 10 mgd، تعمل لدى (F/M) قدرها 0.25 وهضم بنسبة تحطيم للـــ (VSS) قدرها 50%، تم نزع الماء منها للوصول إلى كعكة تحوي 30% مواد صلبة و34 lb/ton نتروجين متاح في المحطة، و10 lb فوسفور بصورة P_2O_5. استخدم الموقع لزراعة الذرة مع احتياج إجمالي للمحصول من الفوسفور يبلغ 250 lb/acre. تشير اختبارات التربة إلى أن تركيز النتروجين قد بلغ 60 lb/acre والفوسفور 5 lb/acre.

الحل

بالعودة إلى الشكل 11-50 لإنتاج المواد الصلبة في الحمأة، وبافتراض أن الـــ BOD بلغ 200 mg/l وبلغ جزء المواد الصلبة المعلّقة الطيّارة 70%، فتُحسب المواد الصلبة الإجمالية كالآتي:

المواد الصلبة:

$$(10\cdot200\cdot2\cdot0.45)\cdot0.3 + (10\cdot200\cdot2\cdot0.45)\cdot0.7\cdot0.5 = 1170 \text{ lb/day}$$
$$= 1170\cdot\frac{365}{2000} = 214 \text{ ton/yr}$$

حمولة المواد المغذية:

214·34 = 7300 lb نتروجين

214·140 = 30000 lb فوسفور

احتياج المحصول:

250 – 60 = 190 lb/acre نتروجين

50 – 5 = 45 lb/acre فوسفور

الدونمات المطلوبة استناداً إلى حمولة النتروجين:

7300/190 = 40 acres

الدونمات المطلوبة استناداً إلى حمولة الفوسفور:

3000/45 = 670 acres

اعتماداً على امتصاص الفوسفور، يتطلب الاستخدام الزراعي توزيع الحمأة على أكبر مساحة وأن يكون النتروجين المضاف مطلوباً للإيفاء باحتياجات النبات.

مقلب ردم أو حفرة لردم النفايات

يمكن لحمأة منزوعة الماء أن تطرح في مقلب ردم نفايات أو حفرة ردم نفايات مُصممَّة خصيصاً للحمأة. يمكن أن يكون الدفن هو الطّرح النهائي لحمأة مهضومة مجففة ولكعكة حمأة خام منزوعة الماء. ونظراً إلى كونها تمثّل مشاكل صحية، تُصمّم مواقع مقالب ردم النفايات بحيث تمنع تلوّث المياه الجوفية والسطحية. يقوم الكثير من المدن بدفن حمأة مياه الصرف في مقالب ردم النفايات الصحية إلى جانب قمامة المدينة. تتضمن العمليات الأساسية نشر النفايات ورصّها وتغطيتها يومياً بتربة مستخرجة بالحفر. ويقوم الكثير من المواقع بدمج الحمأة منزوعة الماء لطرحها في الغطاء اليومي.

19-11 ضبط الرائحة الكريهة

تُنتَج الروائح الكريهة من تشكُّل كبريتيد الهيدروجين، وتحرُّر المركَّبات العضوية وأبخرة أخرى. ينتج التفكك ميركبتان، وكبريتات عضوية، وأمينات. يمكن كشف كبريتيد الهيدروجين بتراكيز أعلى من 0.005 ppm. ولدى تركيز 10 ppm يكون له تأثيرات سامة في الجهاز التنفسي.

تكون الروائح أشدّ وضوحاً في بداية المحطة (مجرور مياه صرف خام، غرابيل، والرمل الخشن)، والمثخنات، وتخزين الحمأة، والمعالجة. وتعتبر المروّقات الأولية ومحطات الضخ ضمن المحطة والمرشحات التقطرية، مصادر ثانوية للرائحة. وتتراوح معدلات التهوية بين 6 و20 تغيّراً هوائياً في الساعة. وتتضمن معدات ضبط الرائحة أنظمة امتزاز، وأنظمة حيوية، وأنظمة غسيل الغاز الرطب. وبسبب المحتوى الرطوبي العالي واحتمال التآكل بسبب كبريتيد الهيدروجين، يتم تصنيع النافخات وشبكة الأنابيب من مواد مقاومة التآكل كالبلاستيك والزجاج الليفي.

أنظمة الامتزاز

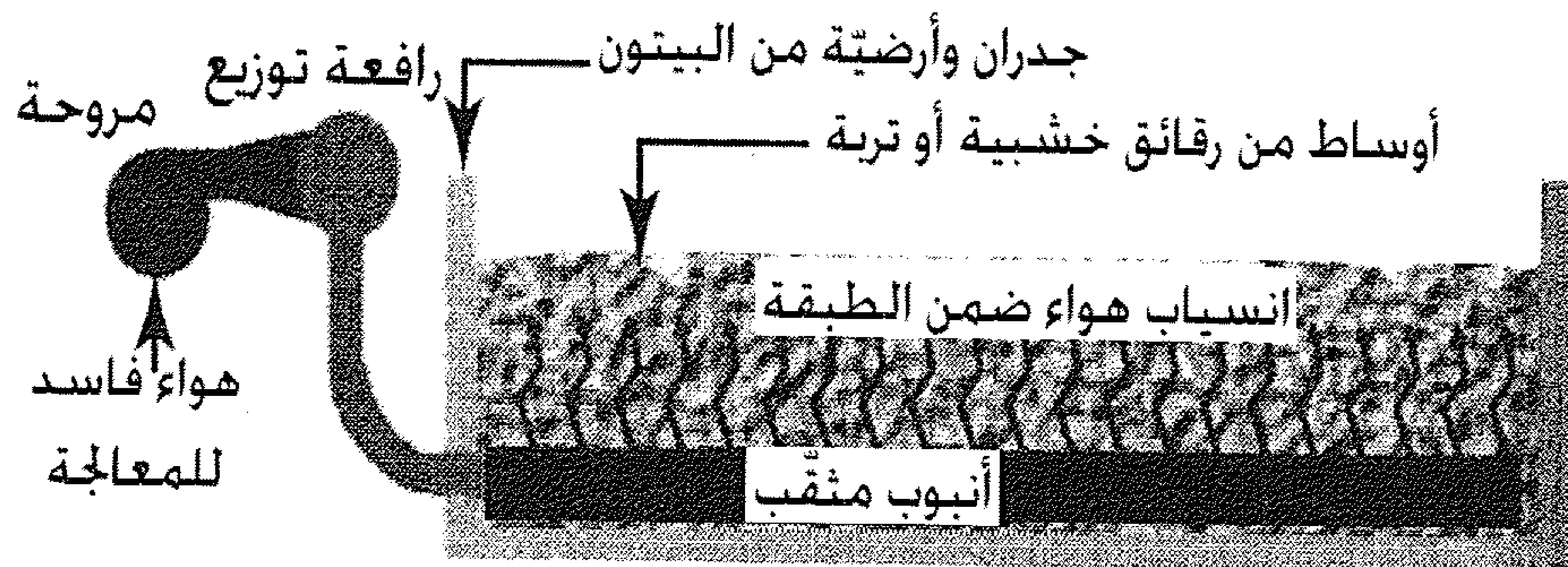
إن أكثر الأوساط شيوعاً لأنظمة الامتزاز، هو الفحم المنشِّط الحُبيبي، والذي يمتز المركَّبات العضوية واللاعضوية. يتم الإمداد بالأوساط الحُبيبية من الغربال ضمن الخزان. تُستخدم النافخات أو المراوح قبل الخزان أو بعده. وبمرور الهواء عبر الأوساط، يتم امتصاص المركَّبات كريهة الرائحة على مساحة السطح الواسع للكربون. وعندما يُشبع الكربون، لا يعود بمقدور المرشح بعد ذلك إزالة الروائح الكريهة، لذا ينبغي إعادة تجديده. وسعر الكربون الجديد مرتفع كما إن إعادة توليد الكربون المشبع مكلفة.

الأنظمة الحيوية

يمكن تخفيض محتوى المركَّبات العضوية واللاعضوية عبر النشاط الحيوي. وفي بعض المحطات يُمرَّر الهواء كريه الرائحة بأنابيب إلى مدخل نافخات التهوية، ويُستخدم نظام الحمأة المنشطة لإزالة المركَّبات كريهة الرائحة.

برغم فعالية هذا النظام، إلا أنه ينبغي معالجة القضايا المرتبطة بالتآكل لأن معظم النافخات غير مُصمّمة لمثل هذه الظروف الرطبة الأكّالة. لقد استخدمت المرشحات التقطرية المخصصة لمعالجة الروائح الكريهة معطية نتائج متباينة. تتكون الطبقات الحيوية من أوساط رملية أو من السماد المخلَّط مزوَّدة بشبكة أنابيب

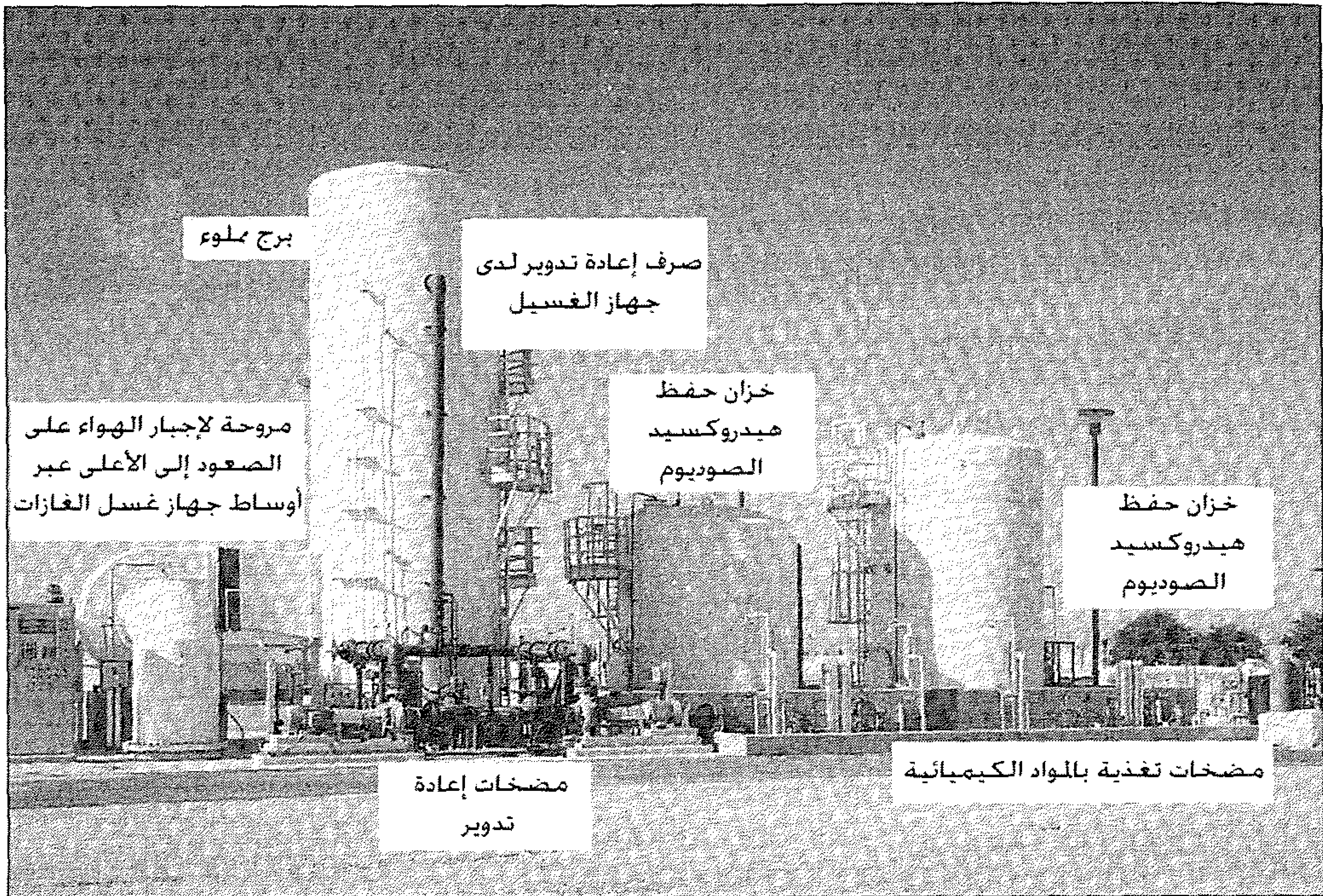
توزيع مثقّبة كما هو مبين في الشكل 11-69. تزيل هذه الأوساط الروائح الكريهة من تيار الهواء، مع قيام النشاط الحيوي بتخفيض محتوى المركّبات. ينبغي إضافة الماء إلى الطبقات لإبقائها رطبة كي تدعم النمو الحيوي. تتفكك الأوساط ببطء وتُغيّر عادةً كل عشر سنوات أو نحوها.



شكل 11-69: طبقة حيوية لضبط الرائحة الكريهة. ينشر الهواء تحت طبقة من رقائق الخشب أو الرمل. تُزال المركّبات المسببة للرائحة الكريهة بالامتزاز وتحطم بالنشاط الحيوي. تحافظ الرشّاشات على محتوى رطوبي مناسب للنمو الحيوي

أجهزة غسل الغاز الرطب

تستخدم أجهزة غسل الغاز الرطب مياهاً معالجة كيميائياً لإذابة وتخفيض المركّبات كريهة الرائحة. ويستخدم هيدروكسيد الصوديوم لخفض قيمة pH، وزيادة الذوبان، كما يستخدم هيبوكلوريد الصوديوم لتخفيض محتوى المركّبات كيميائياً. يظهر الشكل 11-70 نظام غسل غاز رطب مكوّن من برج تنظيف (فارغ أو مملوء بأوساط بلاستيكية)، وتغذية كيميائية، وحفرة رطبة على قاع برج التنظيف، ومضخات إعادة تدوير، ونظام بخّاخ على قمة جهاز غسيل الغاز. يُجبر الهواء على الصعود ضمن جهاز الغسيل بينما يسقط الماء إلى الأسفل غاسلاً المحلول. يتطلب الأمر تياراً ثابتاً من الماء العذبة لمنع تراكم الأملاح في مياه إعادة التدوير. ومن الضروري التنظيف بالأحماض دورياً لإزالة التوضعات من أوساط جهاز غسل الغاز.



شكل **11-70** صورة لبرج مملوء في جهاز غسيل الغاز، مروحة وتغذية كيميائية. يجبر الهواء على الصعود عبر البرج بينما ينساب ماء إعادة التدوير المعالج كيميائياً للأسفل لإذابة وأكسدة المركّبات كريهة الرائحة

المراجع

1. *Recommended Standards for Wastewater Facilities: Policies for the Design, Review, and Approval of Plans and Specifications for Wastewater Collection and Treatment Facilities.* A Report of the Wastewater Committee of the Great Lakes-Upper Mississippi River. Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. Albany, NY: Health Research, Inc., Health Education Services Division, 1997.

2. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 815-R-99-014, April 1999.

3. Linden, Karl C., [et al.]. "Effectiveness of UV Irradiation for Pathogen Inactivation .in Surface Waters." *2002 Progress Report: Effectiveness of UV Irradiation for Pathogen Inactivation in Surface Waters.* Duke University: University of North Carolina at Chapel Hill, 2002. EPA Grant Number: R829012, 2002

4. *CFR Title 40: Protection of Environment*. Chapter 1. Subchapter O-Sewage Sludge (Parts 501-503). U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/epahome/cfr4o.htm>.

5. *Control of Pathogens and Vectors in: Sewage Sludge*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 625/R-92/013 2003.

مسائل

1-11 وصفت معالجة تقليدية لمياه الصرف كعملية تحويل BOD إلى مواد صلبة إلى تثخين مواد صلبة. صف العملية الإجمالية لمعالجة مياه الصرف وقارن حجوم الانسياب وتراكيز المواد الصلبة للتدفّق الداخل والتدفق الخارج وجدول المواد الصلبة (الشكل 11-3) مع المناقشة الواردة في الشكل11-1.

2-11 ما هي عمليات الوحدة المنفردة ضمن المعالجة المسبقة، المعالجة الأولية، المعالجة الثانوية، التعقيم، معالجة المواد الصلبة؟

3-11 محطة معالجة ذات انسياب أدنى قدره 2mgd ، انسياب شهري أقصى قدره 4mgd وانسياب ذروة قدره 8.5mgd. ما هي القيم التي ستستخدم في تحديد حجم محطة الضخ، المعالجة الأولية، المعالجة الثانوية، التعقيم، معالجة المواد الصلبة؟ ما هو الرقم الذي يمثّل طاقة المعالجة على أفضل نحو ولماذا؟

4-11 ما هو الغرض من غرابيل القضبان والغرابيل الناعمة في معالجة مياه الصرف؟ ما هي أوجه الشبه والاختلاف بينها؟

5-11 ما هو الغرض من وحدة معالجة الغربلة؟

6-11إذا صُممت محطة معالجة استطاعتها 6.5mgd ذات غربال قضبان (تباعد حر $\frac{3}{4}$ in.)، يعقبه غربال ناعم (تباعد حر 1 mm)، فكم سيبلغ المعدل، وكم ستبلغ تقديرات المواد الصلبة نتيجة غربلة شديدة لكل وحدة وكم سيبلغ إجماليهما؟

7-11 ما هو الغرض من إزالة الرمل الخشن؟ وما هي الأداة المُستخدمة في ذلك؟

8-11 لماذا تعتبر معالجة الرمل الخشن مهمة لإزالة هذا الرمل؟

9-11 تتلقى محطة معالجة متوسط انسياب قــدره 930000 gpd، ذا انــسياب طقس رطب ليوم ذروة قدره 1.2 mgd. احسب كمية الرمل الخشن التي ينبغي على وحدات المعالجة التعامل معها لدى انسياب ذروة.

10-11 تتلقى محطة معالجة كالتي تظهر في الشكل 11-11 متوســط انــسياب إجمالي قدره 10 mgd وانسياب ذروة قدره 18 mgd. للمضخات الحجم نفسه وواحدة منها داعمة. احسب حجم الأنابيب، وعدد المضخات التي تعمــل لــدى الظــروف الوسطى.

11-11 لقد صممت محطة الضخ الظاهرة في الشكل 11-11 لظروف مستقبلية. تبلغ الطاقة النهائية في طقس رطب 60mgd مع وجود مضخة خارج الخدمة. تبلــغ قياسات الانسياب في المحطة حالياً 32 mgd لدى الذروة، 15mgd في يوم انــسياب متوسط، و 6.2 mgd في الانسياب الأدنى. أحسب حجم المضخات. وكم مضخة ينبغي أن تركب لاستيفاء الانسياب الراهن؟ إذا كانت المضخات بأدنى سرعة لها تعمل بـــ 50% من الطاقة الإجمالية، هل ستعمل إحدى المضخات بالانسياب الأدنى؟

12-11 تخدم محطة ضخ صغيرة 150 منزلاً بانــسياب ذروة قــدره 850gpd للمنزل الواحد. التوسعة الأولية ستكون 60 منزلاً. احسب طاقات المــضخات ذات السرعات الثابتة، واحسب حجم تشغيل الحفرة الرطبــة، مفترضـــاً أن المــضختين ستكونان في المستقبل قيد التشغيل إضافة إلى مضخة داعمة.

13-11 لمضخة ما الخصائص الآتية: 34ft لدى انسياب صــفر، 28ft لــدى انسياب 500gpm، 25ft لدى انسياب 1500 gpm، 18ft لدى انسياب 2500 gpm. تعمل الحفرة الرطبة لدى ارتفاع ثابت تقريباً قدره 1020ft . ينساب الصرف عبــر خط 6ft لمسافة 540ft إلى صندوق توزيــع علـــى ارتفـــاع. اســتخدم C = 100 والمعادلة 4-8 لحساب منحني ضاغط النظام، ثم حدد نقطة التشغيل.

14-11 تعمل حفرة رطبة لمحطة ضخ على ارتفاع بين 540ft و550ft. ويحدد منحني المضخة بالنقاط الآتية: 80ft لدى انسياب صفر، 78ft لدى انــسياب gpm 200، و56 ft لدى انسياب 800 gpm، و50 ft لدى انــسياب 1200 gpm. يحــوي تصريف المضخة على أنبوب مكافئ طوله 50 ft وقطره 6 in. يبلغ طول أنبــوب

التصريف 120 ft وينتهي بصندوق توزيع على ارتفاع 570ft . بافتراض أن C = 100، ارسم منحني المضخة ومنحني المضخة المصحّح. ارسم منحنيات التصريف لدى كل ارتفاع للحفرة الرطبة ولـ C = 100، C = 140. كم يبلغ انسياب المضخة لدى الارتفاع الأدنى والأقصى للحفرة الرطبة ولأنابيب جديدة وأخرى قديمة؟

15-11 يظهر الجدول الآتي خصائص التشغيل لمضخة لولبية. حمل على المحور الأفقي منسوب الماء في حجرة التدفق الداخل مقابل الطاقة والكفاءة على المحور الشاقولي. استخدم المحور الثاني على الشكل البياني نفسه لرسم الكفاءة. عندما يكون منسوب الماء 60% من المنسوب الإجمالي للمياه، كم تبلغ الطاقة؟ في أيّ مجال من طاقة المضخة تكون فيها الكفاءة أكبر من 70%؟

منسوب الماء في حجرة التدفق الداخل (In)	طاقة المضخة (gpm)	كفاءة المضخة (%)
0	0	0
12	60	45
16	120	54
23	240	63
28	360	68
32	480	71
35	600	73
38	720	74
43	960	75
48	1200	75

16-11 ما هو الغرض من الترسيب الأولي، وكيف تقدر وحداته؟

17-11 يوجد في محطة معالجة ثلاثة مروّقات أساسية قطرها 60 in. مع عمق جانبي للمياه فيها يبلغ 9 ft، ويبلغ ارتفاع السدود على متنها 54 ft. ويبلغ معدل

الانسياب اليومي 4.6 mgd والانسياب الأعظمي 8.7mgd. احسب معدلات فائض الانسياب، وزمن الاحتفاظ، وحمولة السد. باستخدام هذه الحسابات، هل حُدِّدت أحجام المروّقات بشكل مناسب؟ وما هي معدلات فائض الانسياب عندما تكون إحدى الوحدات خارج الخدمة؟

18-11 يتلقى مروّق أساسي قطره 65 ft انسياب ذروة قدره 1.2 mgd يحوي على 250 mg/l من (TSS). احسب معدل فائض الانسياب، واعتماداً على المعلومات الموجودة في النص احسب نسبة إزالة (TSS) وتركيز (TSS) في التدفق الخارج. إذا أضيف الحديديك والبوليمير لتحسين الإزالة الأولية، كم تبلغ الإزالة الأولية وتركيز (TSS) في التدفق الخارج؟

19-11 صُمّم مروّق دائري للتعامل مع 2.5mgd بظروف معدل يومي، و5.5mgd لدى انسياب الذروة. باستخدام متوسط فائض الانسياب، احسب حجم المروّق وزمن الاحتفاظ على متوسط عمق لقيم EPA.

20-11 ما هي أوجه الشبه والاختلاف ما بين المروّقات الأولية والثانوية؟

21-11 تعمل محطة معالجة بمروّقين نهائيين قطرهما 45ft وبمعدل انسياب قدره 3.4 mgd وبمعدل انسياب قدره 5.2mgd لدى انسياب الذروة. ما هي معدلات فائض الانسياب؟ وهل هي مناسبة؟ هل يمكن إبعاد وحدة من الخدمة لدى معدل الانسياب.

22-11 تتكون محطة معالجة من ثمانية مروّقات نهائي مستطيلة أبعاد كل منها 18ft × 100ft بعمق جانبي للمياه يبلغ 16 ft. يبلغ الطول الإجمالي للسدود على متنها 110 ft لكل منها. من أجل معدل انسياب قدره 6 mgd وانسياب ذروة قدره 25 mgd، احسب معدل فائض الانسياب، وزمن الاحتفاظ، وحمولة السد. هل اختيرت أحجام المروّقات بشكل مناسب للانسياب؟ وإن كانت غير مناسبة، فلماذا؟

23-11 يعمل مرشّح تقطّري صخري بتدفُّق داخل قدره 2.8 mgd، 215 mg/l BOD و240 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة. يزيل المروّق الأولي 50% من المواد الصلبة في التدفق الداخل و35% من الـ BOD. المرشحان على عمقين 60 ft و5 ft.

احسب معدل الحمولة. توجد رائحة كريهة بشكل واضح، ويُدرس وضع مرشح ثالث بقطر 60 ft. فإن رُكب هذا المرشح، فكم ستبلغ الحمولة المعدلة؟

24-11 بالعودة إلى المسألة 11-23، تتم دراسة المعالجة الأولية المتقدمة إلى أن يُبنى مرشّح جديد. ما هي المواد الأولية التي ينبغي إضافتها لزيادة إزالـــة المـــواد الصلبة المعلّقة. أظهرت اختبارات الترسيب أن الـــ BOD قد أُزيل بنـــسبة المـــواد الصلبة المعلّقة نفسها. ما هي الحمولة الناتجة إلى المرشّحين؟ هل سيؤدي التغيّر في المعالجة إلى إنقاص مشاكل الرائحة؟

25-11 تتألف محطة ذات مرشّح تقطّري أحادي المرحلة ذي وسط صـــخريٍّ من وحدتين قطرهما 160 ft وعمقهما 7 ft باستخدام مخطط انسياب موضّـــح فـــي الشكل 11-20. يبلغ معدل انسياب التصميم 105 mgd، بمحتوى BOD يبلـــغ 205 mg/l لمواد صلبة معلّقة يبلغ 200 mg/l. يزيل المروّق الأولي 25% من الـــ BOD وتعمل مضخات إعادة تدوير المرشح بـــ 9000 gpm. احسب الـــ BOD والحمولة الهيدروليكية. كُشف المرشّح وخفِّضت درجة الحرارة إلى 4.8 °C . كم يبلـــغ BOD في التدفق الخارج؟ إذا تمت تغطية المرشحات وازدادت درجة الحرارة إلى 18.5 °C، كم يبلغ BOD الناتج في التدفق الخارج؟

26-11 تعمل محطة ذات مرشّح تقطّري ثنائي المرحلة ذي وســـط صـــخري موضَّح في الشكل 11-21، بتدفّق داخل قـــدره 4.8 mgd يحـــوي 225 mg/l BOD، ومواد صلبة معلّقة قدرها 240 mg/l. يزيل مروّق أولـــي 28% مـــن الـــــ BOD. لمرشحات المرحلة الأولى والثانية التقطريين (مرشحان لكل مرحلة) الحجم نفـــسه، بقطر 120 ft وعمق 6.5 ft، تبلغ استطاعة كل مضخة من مضخات إعادة التـــدوير 2400 gpm. احسب الحمولة، وإزالة الـــ BOD لدى كل مرشح وكـــذلك للمعالجـــة الثانوية.

27-11 محطة معالجة مياه صرف صناعية قوية ذات BOD قـــدره 450 mg/l (الجزء الذوّاب منها يبلغ 250 mg/l)، و280mg/l من المواد الصلبة المعلّقة، تتكون عملية المعالجة بالبرج الحيوي (شكل 11-27) من أوساط لحشوة عالية الكثافة ذات انسياب عرضيّ، أبعادها 480 sq ft بارتفاع 20 ft. تبلغ المساحة النوعية للحـــشوة

42 ft^2/ft^3، و n = 0.5، k_{20} =0.0035 $(gpm/ft^2)^{0.5}$. يبلغ التدفق الخارج من المروّق الرئيس 0.8 mgd لدى درجة حرارة 18°C، تبلغ نسبة إعادة التدوير 1.0. احسب الـ BOD المُذاب لدى 20°C، ثم صحّح الحسابات لدرجة حرارة فعليّة. احسب BOD المُذاب والكلي في التدفق الخارج بافتراض أن نسبة الـ BOD المُذاب إلى الـ BOD الكلّي = 0.54 في هذا التدفق.

11-28 محطة تهوية موسَّعة تتألف من ثلاثة خنادق أكسدة من دون ترويق أولي. يبلغ حجم كل خندق 2.0 mil gal. ويبلغ متوسط الانسياب السنوي 6.0 mgd، والانسياب الأعظمي 7.8 mgd، أما BOD فيبلغ 240 mg/l. تم إبقاء MLSS لدى قيمة 1800 mg/l. احسب زمن الاحتفاظ بالمحلول، وحمولة BOD، ونسبة (F/M). ارجع إلى الشكل 11-30 وبيّن ما إذا كانت الحمأة ستترسب بشكل سليم.

11-29 محطة تهوية تقليدية ذات انسياب قدره 12 mgd يحوي BOD بقيمة 190 mg/l. يزيل المروّق الأولي 25% من الـ BOD. أبعاد أحواض التهوية العشرة تبلغ 40 ft عرضاً و100 ft طولاً و15 ft عمقاً، احسب زمن الاحتفاظ بالمحلول، ومعدل الحمولة، ونسبة (F/M). (لدى قيمة MLSS قدرها 2350 mg/l)، وعمر الحمأة (لدى قيمة 5330 lb/day في حمأة الصرف، وSS الفعّالة = 20 mg/l). ارجع إلى الشكل 11-30 لتقدير ما إذا كانت الحمأة تترسب بشكل سليم.

11-30 يبلغ الانسياب الأقصى للتصميم لمحطة حمأة معالجة تقليدية mgd 2.75، ذات BOD قدره 195 mg/l، وSS بمقدار 205 mg/l. احسب قطريّ المروّقين الرئيسيّين والعمقين الجانبيين للماء فيهما. باستخدام متحوّلات الحمولة والتشغيل المدرجة في الجدول 11-2، ما الحجم الذي توصي به لخزانات التهوية. احسب قطريّ المروّقين الثانويين والعمقين الجانبيين للمياه فيهما. (F/M)، والفترة الزمنية للتهوية.

11-31 كيف تؤثّر درجة حرارة مياه الصرف في المعالجة؟

11-32 ما محاسن وعيوب المعالجة بالأكسجين عالي النقاء؟

11-33 قارن بين التشغيل والتحكّم بتهوية الحمأة مقابل أنظمة الترشيح الحيوي.

34-11 يتم التصميم لحديقة مقطورات تتسع لـ 140 وحدة بإشغال قدره 2.0 شخص لكل وحدة. يبلغ انسياب مياه الصرف 80 gpcd بقيمة BOD قدرها 17 mg/l، ومواد صلبة معلّقة قدرها 190 mg/l. احسب حجمي حوض التهوية الموسعة والمروّق (انظر الشكل 11-33) باستخدام القيم الدنيا لزمن الاحتفاظ ومعدلات فائض الانسياب. احسب متوسط (F/M) باستخدام قيمة MLSS قدرها 1000 mg/l. احسب حمولة BOD، قارن القيم بتلك المدرجة في الجدول 11-4.

35-11 خندق أكسدة ذو انسياب قدره 11.5 mgd. يحتوى التدفق الداخل على BOD 200 mg/l، و35 mg/l أمونيا، بينما يحتوي التدفق الخارج على 10mg/l . أشبعت مياه الصرف بالنترات على مدار العام لدى درجة حرارة $16^{\circ}C$. في الخندقين أربعة مهوّيات ذات فراشي، تعمل كل منها تحت ظروف قيم المتوسط (جدول 11-5). استخدم $\alpha F = 0.5$، و$\beta = 0.9$. يبلغ الـ DO المتبقي 4.0. احسب قيم احتياج الأكسجين، نقل الأكسجين، وقيمة hp لكل فرشاة.

36-11 حوض تهوية بالفقاعات الناعمة ذو انسياب 21.5 mgd، يحتوي التدفق الداخل على BOD 180 mg/l، و31 mg/l أمونيا، بينما يحتوى التدفق الخارج على 10mg/l. لا يمكن بدرجة الحرارة خلال الشتاء البالغة $14.8^{\circ}C$ الوصول إلى الاشباع بالنترات، ولكن لا يمكن لمشغلي المحطة تجاوز النترتة. يتم التحكّم بالـ DO لإبقائه عند قيمة 2.0mg/l . ويبلغ عمق النافثات 15 قد. استخدم متوسط قيم نقل الأكسجين لـ αF وβ. احسب (1) في الشتاء ثم (2) في الصيف، قيم كل من احتياج الأكسجين، ونقل الأكسجين، وhp، ومعدل انسياب الهواء.

37-11 تُستخدم محطة معالجة حمأة منشطة، تهويةً بفقاعات كبيرة على عمق 15 ft. يبلغ الانسياب 6.5mg/l. حيث يحتوي التدفق الداخل على BOD 220 mg/l (تبلغ إزالة المروّق الأولي 35%). قيم ألفا وبيتا وDO مماثلة لتلك المدرجة في الجدول 11-10. تبلغ درجة حرارة مياه الصرف $16^{\circ}C$. احسب hp وانسياب الهواء الضروريين.

38-11 أُنجزت دراسة مخبرية على مياه صرف مُذابة لتقدير الثوابت الحركية لنموذج رياضيٍّ معروض في الفقرة 11-8. يبلغ حجم حجرة التهوية 10 l، ممزوج

بواسطة صخر مولِّد للفقاعات. تمت التغذية بمياه صرف بمعدل 38 l/day. وكـــان المحلول لممزوج يُزال يومياً. كم يبلغ زمن احتفاظ المحلول، كم تبغ قيم Y، k_d ، k_l ، k_s . من القيم المخبرية لكل سلسلة اختبارات احـــسب θ_c ، $1/\theta_c$ ، r_{su} ، U، U1/ و S_e1/. ارسم بيانياً هذه القيم، كما هو موضّح في الشكل 11-40، لتقـــدير الثوابـــت الحركية.

11-39 يتم تصميم محطة معالجة حمأة منشطة ممزوجة تماماً، لانسياب ميـــاه صرف قدره 3.0 mgd. تبلغ قيم الـــ BOD mg/l 225 منها 200 mg/l ذوّابة. حُدّد متطلّب الـــ BOD في التدفق الخارج بـــ 7mg/l (70% من الـــ BOD الإجمـــالي البالغ 10 mg/l). ولتحديد الأحجام، يجب أن يكون زمن المكوث 8 أيام لدى قيمـــة MLSS قدرها 2500 mg/l. أظهرت النتائج المخبرية أن Y= 0.6 lb VSS/lb BOD و k_d = 0.06 في اليوم، و k = 5.0 في اليوم، و k_s = 60mg/l. احسب حجم حـــوض التهوية (استخدم عامل أمان يبلغ مثلي القيمة المحسوبة)، واحـــسب معـــدل حمـــأة الصرف.

11-40 صف العملية الحيوية في بحيرات اختيارية. صف العمليـــة الحيويـــة المترافقة مع الأهوار المهوّاة مقابل تهوية الحمأة المنشطة.

11-41 استناداً إلى حمولة قدرها 25 lb BOD/day/acre، كم تبلغ مساحة البركة المطلوبة لمتوسط انسياب قدرها 0.65 mgd بمحتوى BOD قدره 165 mg/l؟ احسب العمق الأدنى للماء لزمن احتفاظ قدره 90 يوم بخسارة صافية تبلغ 0.7 in./week.

11-42 تتلقى برك استقرار بمساحة سطح إجمالية تبلغ 16 دونماً، انسياب مياه صرف قدره 0.2 mgd بمحتوى BOD قدره 230 mg/l؟ احـــسب حمولـــة BOD، وتخزين فصل الشتاء المتاح بين عمقي 2 ft و 5 ft بافتراض خسارة صـــافية مـــن الماء تبلغ 0.05 in./week خلال أشهر الشتاء.

11-43 عالج لاغونٌ مهوّى، ذو عمق 10 ft وحجـــم محلـــول 175000 cu ft، وسطياً ما مقداره 0.2 mgd من مياه صرف ذات BOD يبلـــغ 450 mg/l. تتـــراوح أقصى درجات الحرارة المتوقعة لمياه الصرف المهـــواة مـــا بـــين $10^{\circ}C$ - $30^{\circ}C$. ولتأمين مزج مناسب، أوصيَ بمهوّيين سطحيّين استطاعة كل منهما 25 hp. اعتماداً

على دراسات إمكانية المعالجة المخبرية، كان لمياه الصرف الخصائص الآتية: k_{10} = 0.68 في اليوم، C_t = 2.0، α = 0.9، β = 0.8، ومعدل استخدام الأكسجين lb أكسجين/BOD lb 1.0. هل حُدّد حجم الهور بشكل مناسب؟ هل المهوّيات مناسبة؟ هل يفي الهور بمتطلبات الـ BOD البالغة 50 mg/l؟

11-44 تتلقى بركة مهوّاة 0.375 mgd في اليوم بمحتوى BOD قدره 220 mg/l؟ كم مهوّياً ذا استطاعة تبلغ 10 hp ينبغي استخدامه؟

11-45 ما هو السبب الرئيس في تعقيم التدفق الخارجي لمياه الصرف؟ اكتب التفاعل الكيميائي الذي يحدث عندما يمتزج الكلور مع التدفق الخارجي لمياه الصرف. لماذا يعتبر الكلور المتبقي مؤذياً للجداول التي تتلقاه؟ ما هي المواد الكيميائية التي تُستخدم لتحييد الكلور المتبقي؟

11-46 لماذا تتم الكلورة في أحواض طويلة وضيقة؟

11-47 لمحطة معالجة انسياب شهري أقصى قدره 14.6 mgd. احسب حجم خزان تماس الكلور وأبعاده التي يوصى بها. من أجل تركيز كلور قدره 5%، احسب عدد الباوندات المُستخدمة في اليوم، وعدد الأيام التي سيبقى مخزون قدره 1 طن في الخزان.

11-48 كيف يوفر الضوء فوق البنفسجي التعقيم؟

11-49 تقدّم الأشعة فوق البنفسجية تدفّقاً خارجياً قولونيات إجمالية 100 ml/ MPN2.2، إن كان التدفق الداخل ذا قولونيات إجمالية 4400 MPN/ml100، احسب إزالة الـ log وجرعة الأشعة فوق البنفسجية. كم يبلغ مقدار إزالة أبواغ سابيليس بي.؟

11-50 صف معالجة أنظمة الطرح المنزلية المنفردة.

11-51 تتكون محطة معالجة حمأة منشطة استطاعتها 5.2 mgd بمحتوى BOD يبلغ 200 mg/l ومواد صلبة معلّقة يبلغ 220 mg/l، من مروّق أولي، وحوض تهوية (dt = 8 ساعات) ومروّق ثانوي. تبلغ الإزالات الأولية 48% من المواد الصلبة و32% من الـ BOD. يعمل حوض التهوية بتغذية تدريجية للـ MLSS قدرها

mg/l 3000. احسب المواد الصلبة في الحمأة ومعدل الانسياب حيث يكون التركيز الأولي للمواد الصلبة 5.5% وحمأة الصرف المنشطة 0.5%.

11-52 باستخدام مساهمة للفرد في مياه الصرف قدرها 120 gpcd بمحتوى BOD يبلغ 0.2 lb ومواد صلبة معلّقة يبلغ 0.24 lb، احسب كمية المواد الصلبة في الحمأة وحجم حمأة الصرف الناتجة من الفرد الواحد باستخدام محطة مرشح حيوي ومحطتي حمأة منشطة مختلفتين. والمحطات هي كالآتي:

1 . ترشيح حيوي

يزيل المروّق الأولي 50% من الـ BOD بتركيز مواد صلبة في الحمأة قدره 5%. تبلغ قيمة k للمرشح 0.31 وكمية المواد الصلبة في التدفق الخارج 30 mg/l.

2 . محطة حمأة منشطة تقليديّة

للمحطة مروّق أولي يزيل 50% من المواد الصلبة و30% من الـ BOD بتركيز 5% للمواد الصلبة في الحمأة وزمن احتفاظ قدره 8 ساعات ومحتوى MLSS قدره 1500 mg/l. تبلغ المواد الصلبة في التدفق الخارج 20mg/l. الحمأة خليط من حمأة أولية ذات نسبة 5% من المواد الصلبة وحمأة صرف منشطة مثخنة ذات نسبة 4% من المواد الصلبة.

3 . محطة تهوية موسعة

لا يوجد مروّق أولي. وللحوض زمن احتفاظ قدره 24 ساعة و1200mg/l. تحتوي الحمأة المصرفة من المروّق الثانوي على 1% مواد صلبة.

11-53 احسب السرعتين الحرجتين العليا والدنيا لحمأة صرف أولية مهضومة بمحتوى مواد صلبة يبلغ 5%. مثّل بيانياً فقد العلوّ من انسياب صفر إلى 600 gpm بزيادات قدرها 100 gpm، لأنبوب قطره 6 in. وطوله 800 ft. رمّز السرعتين الحرجتين العليا والدنيا، وفقاً لما هو مبين في الشكل 11-52.

11-54 ينبغي ضخ حمأة من المروق الأولي إلى الهاضم اللاهوائي بمعدل 500 gpm بمحتوى 4.5% من المواد الصلبة، ومن المروّق الثانوي إلى المثخّن بمعدل 500 gpm وبمحتوى 0.5% من المواد الصلبة، ومن المثخّن إلى الهاضم اللاهوائي بمعدل 100 gpm بمحتوى 5% من المواد الصلبة، ومن الهاضم

اللاهوائي إلى نزع الماء بمعدل 350gpm وبمحتوى 3.5% من المواد الصلبة. قطر كل الأنابيب .8 in. المسافات والتوصيلات كالآتي:

الحمأة الأولية 850 ft، 14 صمام سادّ، 8 صمامات قطع، 8 وصلات T تمرير انسياب، 24 كوع قياسي °90.

حمأة مروّق ثانويّة 420ft ، 8 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 3 وصلات T تمرير انسياب، 8 كوع قياسي °90 (استخدم C = 100).

حمأة متخّنة 1200 ft، 14 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 9 وصلات T تمرير انسياب، 18 كوع قياسي °90.

حمأة مهضومة 520 ft، 6 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 3 وصلات T تمرير انسياب، 14 كوع قياسي °90.

احسب فقد العلوّ في الأنبوب والتوصيلات

11-55 محطة ذات20 gpm و215 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة تحافظ على إزالة مروّق أولي قدرها 60% للمواد الصلبة في الحمأة الفائضة المنسكبة (22%) إلى مثخِّن حمأة جاذبي. احسب حجم المساحة الإجمالية المطلوبة للتثخين لدى متوسط معدل حمولة يبلغ 29 lb/sq ft. احسب قطر الخزانين المتساوين في الحجم.

11-56 يتلقى خندق أكسدة بلا ترويق أولي 28 mgd بمحتوى من الـ BOD قدره 185 mg/l ومواد صلبة معلّقة قدره 200 mg/l (زمن مكوث = 24 ساعة). طرحت الحمأة للمحافظة على MLSS بحدود 2500 mg/l بتركيز للمواد الصلبة $\frac{3}{4}$ %من المواد الصلبة. احسب المواد الصلبة التي طرحت بالـ lb/day، واحسب معدل الانسياب. كم وحدة تثخين يتطلب الأمر لدى استطاعة 250 gpm، تعمل 8 ساعات في اليوم؟ إذا ثخِّنت الى 4.5% مع إمساك يبلغ 95%. احسب كمية المواد الصلبة والانسياب في الحمأة المثخّنة والرشاحة.

11-57 ما هي المتطلبات التنظيمية وعمليات المعالجة للوصول إلى مواد صلبة حيوية صف B؟ وأين تُستخدم هذه المواد؟

11-58 هاضمات هوائية طاقتها الإجمالية حوالى 50 000 cu ft. يبلغ المتوسط اليومي لانسياب الحمأة 32,000 mgd بمحتوى من المواد الصلبة قدره 1.5%، وما

نسبته 63% منها مواد طيارة. احسب زمن الاحتفاظ بالحمأة ومعدل حمولـة (VS)، وقدِّر ما إذا كانت متطلبات الصف B قد تم استيفاؤها لدى 15%.

59-11 هُضمت لاهوائياً حمأة في خندق أكسدة. بلغ حجم حمـأة الصرف 5250 lb/day بمحتوى من المواد الصلبة قدره 1.2% وما نسبته 65% منها مـواد طيارة. وتبلغ درجة حرارة مياه الصرف $15.5^{\circ}C$. احسب معدل انسياب الحمـأة، وحجم الهاضم كي يفي بمتطلبات الصف B. ما الحجم الأدنى للهاضم الهوائي؟ احسب الأيام تبعاً للدرجات.

60-11 تضخ حمأة خام بمعدل 180 gpm إلى ثلاثة هاضمات لاهوائية (قطرها 40 ft، وعمقها 20 ft)، تحوي مواد صلبة نسبتها 5% وما نسبته 65% منها مـواد طيّارة. الحمأة لا تترسب ولا تُسحب. تحافظ الهاضمات على نسبة تحطيم للمـواد الصلبة الطيّارة قدرها 42%. احسب زمن الاحتفاظ بالمحلول، ومعـدل الحمولـة، والنسبة المئوية النهائيّة للمواد الصلبة.

61-11 هاضمات لاهوائية ثنائية المرحلة مكوَّنة من هاضمين أوليـين بغطـاء ثابت، وهاضمين ثانويين بغطاء عائم. كل الهاضمات ذات قطر 35 ft بعمق محلول قدره 22. الأغطية الطافية ذات مجال تشغيل قدره 10 ft. تُغذّى الحمأة بمعدل 500 gpm، لمدة 5min كل ساعة. تحتوي الحمأة على 4.5% مواد صلبة، وتبلـغ نـسبة المواد الطيارة فيها 62%. يتم تحطيم 50% من المواد الـصلبة الطيّـارة ويتطلـب الطقس 3 أشهر تخزين. احسب معدل الحمولة، والنسبة المئويـة للمـواد الـصلبة المُعالَجة، والتخزين. هل التخزين مناسب؟

62-11 تتطلّب طبقة تجفيف في ولاية شمالية أن يُحدَّد حجمها من أجل محطة مرشّح تقطّري ذي وسط صخري. يبلغ الانسياب الأولي 100lb/day، ويبلغ انسياب الحمأة الثانوية 400lb/day. ما الحجم الذي توصي به لطبقات تجفيف الحمأة؟ احسب عدد الطبقات اعتماداً على الأبعاد العامة المعطاة في النص.

63-11 صف العملية التي تُحوّل بها الحمأة إلى سماد مخـتلط. كيـف يمكـن التوصل إلى تخفيض عدد المُمرضات؟

11-64 صف عملية معالجة الجير. كيف يمكن التوصل إلى تخفيض عدد المُمرضات؟

11-65 ما هي متطلبات التنظيم وما هي عمليات المعالجة للتوصل إلى الصف A من المواد الصلبة الحيوية؟ ومتى يمكن استخدام هذه المواد الصلبة الحيوية؟

11-66 قارن بين الاختلاف التشغيلي للهضم اللاهوائي وللهضم الهوائي ذاتي الحرارة والمحب للحرارة. ما أوجه التشابه والاختلاف بين عملياتهما؟

11-67 صف طريقتي التعقيم وصف كيف تصل كل منهما إلى الإيفاء بمتطلبات معالجة المواد الصلبة الحيوي للصف A؟

11-68 استخدمت وحدة اختبار ضاغط مرشح حزام مركَّبة في مقطورة متحرِّكة، لاختبار إمكانية نزع الماء لاهوائياً من حمأة مهضومة. تعمل الوحدة لدى معدل تغذية قدره 20 gpm وجرعة بوليمير قدرها 2 gpm تحوي على 0.2% وزناً بوليمير. بلغ انسياب مياه الغسيل 17 gpm واحتوى على 2000mg/l من المواد الصلبة المعلّقة، أما الرشاحة فقد بلغ انسيابها 19gpm واحتوت على 500 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة. ثُخِّنت نسبة المواد الصلبة في التغذية البالغة 3.5% إلى كعكةٍ بتركيز 32%. احسب الحمولة الهيدروليكية، وحمولة المواد الصلبة، وجرعة البوليمير واسترداد المواد الصلبة.

11-69 ضاغط حزام عرضه 2.0 m ينزع الماء من انسياب حمأة قدره 150 gpm بمحتوى 4% من المواد الصلبة. تبلغ جرعة البوليمير 6.4 gpm بمحتوى 0.5% من البوليمير وزناً. بلغ استهلاك الماء 60 gpm. نسبة المواد الصلبة في الكعكة 24%، والمواد الصلبة المعلّقة في مياه الغسيل 1400 mg/l. احسب معدل الحمولة الهيدروليكية، ومعدل حمولة المواد الصلبة، وجرعة البوليمير واسترداد المواد الصلبة.

11-70 تنزع نابذة الماء من حمأة تم التغذية بها بمعدل 250 gpm وتحوي على 2.6% مواد صلبة. تبلغ إضافة البوليمير النشيط 22 lb/ton من الحمأة (البوليمير نشيط بنسبة 45%) نسبة المواد الصلبة في الكعكة 26% وتحوي الركازة على 1720 mg/l من المواد الصلبة. احسب باوندات المواد الصلبة المُستخدمة، وكفاءة الإزالة،

وباوندات البوليمير النشيط، والباوندات الإجمالية للبوليمير المُستخدم. إذا كان البوليمير يزن 9 lb/gal، فكم يبلغ معدل التغذية بالبوليمير مقدراً بعدد الغالونات في الساعة؟

71-11 تنتج محطة معالجة 8000 lb/day من حمأة إجمالية نُزع ماؤها إلى نسبة مواد صلبة فيها قدرها 26%. احتوت الحمأة على نتروجين متاح بالمحطة قدره 36 lb/ton. وأظهرت التحاليل متبقي نتروجين قدره 75lb/acre . ما عدد الدونمات المطلوبة لنمو التبن؟

72-11 محطة معالجة بمرشح تقطري ذي أوساط صخرية ثنائي المرحلة، تتكون من معالجة أولية ومعالجة ثانوية، كما هو مبين في الشكل 11-21. يطرح التدفق الخارجي المُكلوَر إلى نهر. تتكون معالجة المواد الصلبة من إعادة حمأة المروّق المتوسط والثانوي إلى المروّق الأولي لإزالة المواد الصلبة. تُهضم الحمأة بهضم لاهوائي ثنائي المرحلة وتُنقل إلى استخدام أرضي.

ظروف التشغيل:

انسياب تصميم شهري أقصى = 4 mgd، انسياب الذروة = 8.1 mgd، انسياب أدنى = 1.8mgd

185 mg/l= BOD

مواد صلبة معلّقة =198 mg/l

درجة حرارة مياه الصرف = 14.5°C

متطلبات معالجة التدفق الخارج:

BOD = 30 mg/l، مواد صلبة معلّقة = 30 mg/l، 200 MPN/100 ml

وحدات المعالجة:

محطة ضخ للتدفق الداخل بمضختين لولبيتين .48 in

غربال قضبان بفتحة .1 in

لا يوجد إزالة للرمل

مروّقات أولية – اثنان بقطر 45 ft، عمق جانبي للمياه في كل منهما 7 ft

مروّقات متوسطة – اثنان بقطر 35 ft، عمق جانبي للمياه في كل منهما 7 ft

مروّقات نهائية – اثنان بقطر 50 ft، عمق جانبي للمياه في كل منهما 8 ft

مرشحات تقطرية مرحلة أولى – اثنان بقطر 60 ft، بعمق 6 ft لكل منهما

مرشحات تقطرية مرحلة ثانية – اثنان بقطر 60 ft، بعمق 6 ft لكل منهما

حوض تماس مع الكلور– 3 ممرات بقنوات طولها 100 ft، وعرض كل منها 10 ft وبعمق 10 ft

هاضم لاهوائي مرحلة أولى– قطر 35ft ، و12ft تحت الدعامات، حجم التشغيل 20 ft

هاضم لاهوائي مرحلة ثانية– قطر 35ft، و12 ft تحت الدعامات، حجم التشغيل 10 ft فوق الدعامات

حدّد خصائص التشغيل لكلٍ من وحدات المعالجة وقارنها بمتحوّلات تصميم عملية الوحدة المدرجة في النص:

من أجل محطة ضخ التدفق الداخل، حدّد ملائمة حجم الحفرة الرطبة وأحجام المضخة

من أجل غربال قضبان، حدّد الإزالة القصوى للغربلة

من أجل المروّقات، حدّد ملائمة معدلات فائض الانسياب، وحمولة السد، وأزمنة الاحتفاظ.

من أجل المرشحات التقطرية، تحقق من الـ BOD والحمولة الهيدروليكية

من أجل حوض التّماس مع الكلور، حدّد زمن الاحتفاظ، معدل التغذية بالكلور بالباوندات، وكمية الكلور المطلوبة للإمداد به لمدة 30 يوماً.

احسب إنتاج الحمأة وحجمها لما يأتي:

من أجل الهاضمات اللاهوائية، حدّد الحمولة، زمن الاحتفاظ، وزمن التخزين.

من أجل الاستخدام في الأرض، حدّد مساحة الأرض المطلوبة باستخدام 35mg/l نتروجين في الحمأة السائلة.

هل تفي المعالجة بمتطلبات التدفق الخارج.

73-11 تتكون محطة ذات مرشح حيوي من معالجة أولية ومعالجة ثانوية كما هو مبين في الشكل 11-27. يطرح التدفق الخارجي المُكلوَر إلى نهر. تتكون

معالجة المواد الصلبة من إعادة حمأة المروّق الثانوي إلى المروّق الأولي لإزالة المواد الصلبة. يُحتفظ بالحمأة في خزان تخزين ثم يُنزع منها الماء، يُضاف الجير، وتُنقل من ثم الحمأة إلى مقلب ردم النفايات.

ظروف التشغيل:

انسياب تصميم شهري أقصى = 0.12 mgd، انسياب الذروة = 0.32 mgd، انسياب أدنى = 0.05 mgd

BOD = 360 mg/l، SS = 280 mg/l

درجة حرارة مياه الصرف = 16.5 ºC، n = 0.5، k_{20} = $0.0035\ (gpm/ft^2)^{0.5}$

1lb BOD = 0.7 . مواد صلبة 1lb

متطلبات معالجة التدفق الخارج:

BOD = 20 mg/l، مواد صلبة معلّقة = 20 mg/l، 200 MPN/100 ml

وحدات المعالجة:

محطة ضخ للتدفّق الداخل أبعاد الحفرة الرطبة، القطر 60 in.، مجال التشغيل 4 ft، مضختان 250 gpm

غربال قضبان بفتحة 6 mm.

لا يوجد إزالة للرمل

مروّقات أولية – واحد بقطر 12 ft، عمق جانبي للمياه في كل منهما 5 ft

مروّقات نهائية–اثنان بقطر 16 ft، عمق جانبي للمياه في كل منهما 7 ft

مرشحات حيوية – اثنان بقطر 16 ft، بعمق 15 ft لكل منهما

أوساط حشوة عالية الكثافة بانسياب عرضي بمساحة نوعية قدرها $46\ ft^2/ft^3$

ضخ إعادة تدوير قدره 175 gpm

حوض تماس مع الكلور ذات ممر واحد بقنوات طولها 30 ft، وعرض كل منها 3 ft وبعمق 5 ft

تتم التغذية بالهيبوكلوريت من خزان تخزين بتركيز 12.5% كلور

ضاغط مرشح حزام – 3 ضواغط عرض كل منها 0.5 m ، التشغيل من الساعة 8 صباحاً إلى 5 بعد العصر، لمدة 5 أيام في الأسبوع بالترافق مع توفر الحمأة.

حدّد خصائص التشغيل لكلٍ من وحدات المعالجة وقارنها بمتحوّلات تصميم عملية الوحدة المدرجة في النص:

من أجل محطة ضخ التدفق الداخل، حدّد ملاءمة حجم الحفرة الرطبة وأحجام المضخّة

من أجل غربال قضبان، حدّد الإزالة القصوى للغربلة

من أجل المروّقات، حدّد ملاءمة معدلات فائض الانسياب، حمولة السد، وأزمنة الاحتفاظ.

من أجل المرشحات التقطرية، تحقّق من الـ BOD والحمولة الهيدروليكية

من أجل حوض التّماس مع الكلور، حدّد زمن الاحتفاظ، معدل التغذية بالهيبوكلوريت بالباوندات، وكمية الهيبوكلوريت المطلوبة للإمداد بها لمدة 30 يوماً.

احسب إنتاج الحمأة وحجمها لما يأتي:

من أجل ضاغطات مرشح الحزام، حدّد الحمولة، ومعدل التغذية.

كم تبلغ احتياجات الجير للإيفاء بمتطلبات المواد الصلبة الحيوية للصفB؟

هل ستفي محطة المعالجة بمتطلبات التدفق الخارج؟

74-11 يتكون محطة خندق أكسدة من معالجة مسبقة ومعالجة ثانوية من دون مروّق أولي كما هو مبين في الشكل 11-34. يطرح التدفق الخارجي المكلور إلى نهر. تتكون معالجة المواد الصلبة من إعادة حمأة المروّق الثانوي إلى المروّق الأولي، لإزالة المواد الصلبة. تُهضم المواد الصلبة بهضمٍ هوائي وتُنقل من ثم إلى مقلب ردم النفايات.

ظروف التشغيل:

انسياب تصميم شهري أقصى = 2.4 mgd، انسياب الذروة = 4.2 mgd، انسياب أدنى = 1.3 mgd

BOD = 260 mg/l، SS = 210 mg/l، أمونيا = 25 mg/l،

درجة حرارة مياه الصرف = 17.5°C

متطلبات معالجة التدفق الخارج:

BOD = 10 mg/l، مواد صلبة معلّقة = 10mg/l، 200 MPN/100 ml

وحدات المعالجة:

محطة ضخ للتدفّق الداخل أبعاد الحفرة الرطبة 12×20×15، مجال التشغيل ft 8، 5 مضخات استطاعة كل منها 3000 gpm

غربال قضبان بفتحة $\frac{3}{4}$ in.

لا يوجد إزالة للرمل

مروّقات نهائية- اثنان بقطر 60 in.، عمق جانبي للمياه في كل منهما 12 ft

خندق أكسدة – أربعة بحجم 80000 cu ft، أربعة مهوّيات ذات فراشي في كل خزان، MLSS تبلغ 2000 mg/l، عمر الحمأة = 15 يوم

محطة ضخ إعادة تدوير- 6 مضخات باستطاعة 300gpm لكلّ منها

حوض تماس مع الكلور 4 ممرات بقنوات طولها 20 ft ، وعرض كلّ منها ft 10وبعمق 10 ft

هاضمات هوائية-4 وحدات 50 ft x 50 ft x 15 ft لدى منسوب الماء

حدّد خصائص التشغيل لكلٍ من وحدات المعالجة وقارنها بمتحوّلات تصميم عملية الوحدة المُدرجة في النص:

من أجل محطة ضخ التدفق الداخل، حدّد ملائمة حجم الحفرة الرطبة وأحجام المضخّة

من أجل غربال قضبان، حدّد الإزالة القصوى للغربلة

من أجل المروّقات، حدّد ملائمة معدلات فائض الانسياب، حمولة السد، وأزمنة الاحتفاظ.

هل ستترسب الحمأة بشكل جيد؟

من أجل الأكسدة، تحقق من الـ BOD والحمولة الهيدروليكية، تحقق من استطاعة التهوية

من أجل حوض التّماس مع الكلور، حدّد زمن الاحتفاظ، معدل التغذية بالكلور بالباوندات، وكمية الكلور المطلوبة للإمداد به لمدة 30 يوماً.

احسب إنتاج الحمأة وحجمها لما يأتي:

من أجل الهاضمات الهوائية، حدّد الحمولة، وزمن الاحتفاظ، وزمن التخزين.

من أجل الاستخدام الأرضي، حدّد مساحة الأرض المطلوبة باستخدام 30 mg/l نتروجين في الحمأة السائلة

هل ستفي محطة المعالجة بمتطلبات التدفق الخارج؟

75-11 تتكون محطة حمأة منشطة من معالجة مسبقة ومعالجة أولية ومعالجة ثانوية كما هو مبين في الشكل (11-35أ). يُطرح التدفق الخارجي معقماً بالأشعة فوق البنفسجية قبل طرحه إلى النهر. تتكون معالجة المواد الصلبة من تثخين حمأة المروّق الثانوي، ضخ الحمأة الأولية مباشرة إلى الهضم. تُهضم الحمأة بهضم لاهوائي ثنائي المرحلة ويُنزع منها الماء قبل نقلها إلى مقلب ردم النفايات.

ظروف التشغيل:

انسياب تصميم شهري أقصى = 10.3 mgd، انسياب الذروة = 19 mgd، انسياب أدنى = 5 mgd

BOD = 210 mg/l، مواد صلبة معلّقة = 240 mg/l، أمونيا = 22 mg/l،

درجة حرارة مياه الصرف = $17.5^{\circ}C$

متطلبات معالجة التدفق الخارج:

BOD = 10 mg/l، مواد صلبة معلّقة = 10mg/l، 100مل/ 2.2 MPN

وحدات المعالجة:

محطة ضخ للتدفّق الداخل أبعاد الحفرة الرطبة 12 x 25 x 15 ft، مجال التشغيل 6 ft، 5 مضخات 4000gpm استطاعتها بمشغلات سرع مختلفة

غربال قضبان بفتحة $\frac{3}{4}$ in.

إزالة للرمل وحدتان 12 ft x 40 ft

مروّقات أولية – اثنان بقطر 65 ft، عمق جانبي للمياه في كلّ منهما 7.5 ft

مروّقات نهائية – اثنان بقطر 90 ft، عمق جانبي للمياه في كلّ منهما 14 ft

أحواض تهوية – ثمانية بأبعاد 80ft×40ft×19ft عمق الماء، نافثات الفقاعات الناعمة على عمق 18 ft، تبلغ MLSS 400 mg/l، عمر الحمأة = 15 يوماً

محطة ضخ إعادة تدوير–6 مضخات باستطاعة 3000 gpm لكل منها

نافخات – أربع نافخات لدى 56,000 scfm، 15 hp

تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية – أربع وحدات تعمل بالتوازي.

تثخين – حزام جاذبي، 96% إمساك المواد الصلبة، 4.5% مواد صلبة مثخّنة

هاضم لاهوائي مرحلة أولى – قطر 40 ft، و12 ft تحت الدعامات، حجم التشغيل 20 ft

هاضم لاهوائي مرحلة ثانية – قطر 40 ft، و12 ft تحت الدعامات، حجم التشغيل 10 ft فوق الدعامات

النبذ – نابذتان باستطاعة 300gpm لكل منها، 20 ساعة باليوم، تشغيل خمسة أيام بالأسبوع

مسافات ضخ الحمأة والتوصيلات كالآتي:

حمأة أولية: 420 ft ، 16 صمام سد، 1 صمام قطع

الحمأة الأولية 420 ft، 16 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 6 وصلات T تمرير انسياب، 18 كوع قياسي 90°. مدخل واحد ومخرج واحد

حمأة مروّق ثانويّة 860 ft ، 6 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 6 وصلات T تمرير انسياب، 10 كوع قياسي 90° مدخل واحد ومخرج واحد

حمأة مثخّنة 520 ft، 12 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 8 وصلات T تمرير انسياب، 22 كوع قياسي 90°. مدخل واحد ومخرج واحد

حمأة مهضومة 1200 ft ، 4 صمام سادّ، 1 صمام قطع، 6 وصلات T تمرير انسياب، 16 كوع قياسي 90°. مدخل واحد ومخرج واحد

حدّد خصائص التشغيل لكل من وحدات المعالجة وقارنها بمتحوّلات تصميم عملية الوحدة المدرجة في النص:

من أجل محطة ضخ التدفق الداخل، حدّد ملاءمة حجم الحفرة الرطبة وأحجام المضخة

من أجل غربال القضبان، حدّد الإزالة القصوى للغربلة

من أجل الرمل الخشن، حدّد الإزالة القصوى للرمل الخشن

من أجل المروّقات، حدّد ملاءمة معدلات فائض الانسياب، حمولة السد، وأزمنة الاحتفاظ.

هل ستترسب الحمأة بشكلٍ جيد؟

من أجل الحمأة المنشطة، تحقّق من الـ BOD والحمولة الهيدروليكية

من أجل التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية، كم تبلغ الطاقة المطلوبة للإيفاء بمتطلبات الطّرح.

احسب إنتاج الحمأة وحجمها لما يأتي:

من أجل الهاضمات اللاهوائية، حدّد الحمولة، وزمن الاحتفاظ، وزمن التخزين.

من أجل ضغط النبذ، تحقّق من معدل التغذية وظروف التشغيل

من أجل ضخ الحمأة، حدّد تركيز المواد الصلبة، والانسياب وفقد العلوّ.

هل ستفي محطة المعالجة بمتطلبات التدفق الخارج؟

الفصل 12

استطاعة أنظمة مياه الصرف وإدارتها وتشغيلها وصيانتها

تنقسم عموماً أنظمة مياه الصرف بين محطة معالجة مياه الصرف، وأنظمة جمع مياه المجارير مع ما يرافقها من شبكة أنابيب المجارير، والفتحات، ومحطات رفع مياه المجاري. لقد أُدرجت متطلبات وأداء المعالجة والتشغيل في النظام الوطني للتخلص من طرح الملوّثات (National Pollutants Discharge Elimination System, NPDES) وهي تسمح بوضع القوانين أو تنص على الترخيص بالريّ أو إعادة الاستعمال. تتضمن الموافقات متطلبات نوعية الماء للطرح، وقيود الاستطاعة (Capacity)، ومتطلبات التشغيل والصيانة. تركز ظروف الموافقة لأنظمة جمع مياه المجارير على تخفيض حدوث وتكرّر فائض انسياب المجارير، وعلى إبلاغ العامّة عند حدث فائض انسياب.

وتقدر EPA حدوث بين 23000 و75000 فائض انسياب لمجارير الصرف الصحي سنوياً. وتلوّث مياه الصرف غير المعالجة الأنهار والجداول والشواطئ وأجساماً مائيةً أخرى. كما يمكن لمياه الصرف أيضاً أن تتجمّع في الطوابق الأرضية والمناطق المنخفضة. لقد طوّر إقليم EPA Region IV نظاماً لمساعدة المنشآت في تحديد احتياجات أنظمة الجمع والمعالجة. إن برنامج الإدارة والتشغيل والصيانة ((Management, Operation, and Maintenance Program, MOM)،

عبارة عن قائمة دقيقة شاملة لنشاطات، مراقبة ذاتياً ومُصمّمة لتحسين أداء النظام وخصوصاً تخفيض فائض انسياب المجاري الصحية.

لقد طُوّرت مبادئ (MOM) خصيصاً للإقلال من تكرر فائض انسياب المجاري ولكنه يُطبّق بشكل عام، على كافة أنماط إدارة منشآت النفع العام، بما في ذلك منشآت المعالجة، وأنظمة توزيع المياه. تتضمن المبادئ العامة استخداماً أفضل لأساليب وممارسات الإدارة، وتقدير الظروف والاستطاعة، وتخطيط التشغيل والصيانة، وتحديد حلول الإصلاح، وإعادة التأهيل، أو استبدال المعدات أو القطع، وبالتالي تحسين الوثوقية.

تركِّز ممارسات الإدارة على جمع المعلومات (انسيابات الذروة، والانسيابات العادية، والحمولة) للمقارنة باستطاعة التصميم، وللتخطيط بهدف التنسيق لزيادة الاستطاعة مع المرافق الموجودة، والاستخدام الصحيح لمعدات التحليل (نمذجة البرامج الحاسوبية)، والامتثال للقوانين التي تحد من الطرح في المجارير، (وخاصة الدهون والزيوت والشحوم). تتطلب تقديرات الاستطاعة فهم تصميم النظام، والأداء الحالي، واستراتيجيات زيادة الاستطاعة. يتضمن تصميم التشغيل والصيانة تقديراً لكيفية التعامل مع مشاكل الاستطاعة عبر تغييرات في التشغيل، والصيانة، والتحسين، والاستبدال. إن أسلوب ما يسمى "كل شيء – عادي جداً" في أعمال الطوارئ أو الصيانة كردود أفعال، ينتظر عادةً إلى أن ينساب المجرور ويفيض، أو إلى أن تتعطل المعدات، قبل الشروع بتحديد المشكلة المسبِّبة وتحديد الصيانة المصحّحة المناسبة. تتضمن الصيانة الوقائية أداءً رقابياً فعّالاً، وتحكُّماً بتراجع الاستطاعة على أساس منتظم. ينبع الاهتمام بالحاجة إلى إعادة التأهيل، من تردي وضع المنشأة أو المعدّات، والحاجة إلى استطاعة أكبر من استطاعة التصميم الأولي، وعدم قدرة العمليات والمرافق على تلبية المتطلبات التنظيمية. ينبغي لقرار الإصلاح، وإعادة التأهيل أو الاستبدال أن يُحدّد حالةً بحالة. تتطلب صيانة المجارير معرفةً عامَّة بمخططاتها وملاحقها المُستخدمة في أنظمة الجمع، والتي غُطِّيت في الفصل العاشر. لقد نوقشت انسيابات مياه الصرف، والرشح، والانسياب إلى

الداخل. كما تم عرض المعلومات الأساسية المتطلّبة والمتعلقة بوظائف تشغيل الوحدات المختلفة وكيفية ربطها ببعضها البعض، في الفصل الحادي عشر. وستناقش الفقرات الآتية عناصر السلامة في استطاعة أنظمة مياه الصرف، وإدارتها، وتشغيلها وصيانتها مع التشديد على أنظمة جمع مياه المجارير.

1-12 استطاعة معالجة مياه الصرف

تضع تراخيص NPDES قيوداً على انسياب وحمولة المعالجة، والتي ينتج عموماً من تجاوزها، تعليق نشاط المنشأة وبالتالي توقُّف تطورها، إلى أن يُعاد تصنيفها بإعادة تقويمها أو توسعتها لزيادة طاقتها. وقد يتطلَّب الأمر ترقيتها إلى محطة معالجة لاستيفاء متطلبات أكثر تشدداً لنوعية التدفق، دون أن تُضاف عادةً عمليات معالجة جديدة إلى طاقتها الأولية في المعالجة.

تقويم أداء محطات المعالجة

تنجز وكالة التنظيم التابعة للولاية أو مكتب EPA الإقليمي تفتيشاً على مدى الالتزام بالقوانين بهدف ضمان إنجاز المراقبة الذاتية سنوياً، أو بمعدل تكرارٍ أعلى في المحطة، إن لم تكن المحطة ممتثلةً للقوانين.

إن قياسات الانسياب، والاعتيان، والفحوص المخبرية، ومسك سجلات بذلك هي اعتبارات رئيسة. يُقوّم قياس الانسياب للتحقق من دقة نظام القياس المركّب. أما الإجراء المتبع من أجل قناة صنعية، فهو قياس العلوّ وحساب معدّل الانسياب وذلك عبر تطبيق المعادلة أو المخطط البياني المناسبين. ولكي يكون القياس مقبولاً، ينبغي أن تكون القراءة المتزامنة لمقياس التسجيل ضمن $\pm$ 10% من الانسياب المحسوب. إضافة إلى ذلك ينبغي أن تُستعرض سجلات الصيانة مرةً في السنة على الأقل للتثبُّت من معايرة القناة. تستعرض إجراءات الاعتيان والتركيب (فقرة 9–5) للتحقُّق من الامتثال، والقيام بالتكرار المقرَّر للاعتيان، وتحديد مواقع جمع العينات، والاحتياطات المناسبة. ينبغي على العاملين المخبريين أن يكونوا مُدرَبين على

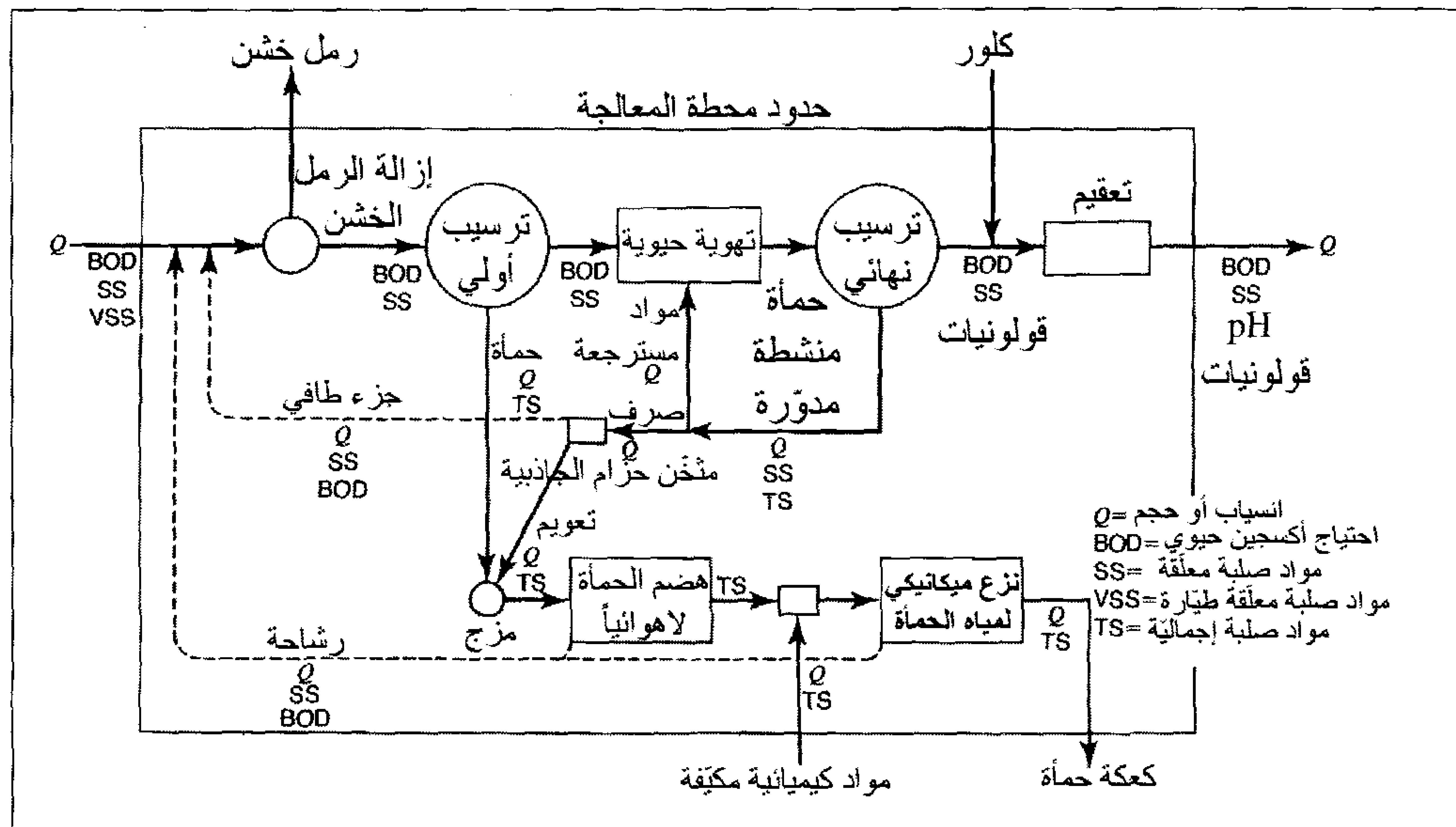
إجراءات ضبط الجودة والإجراءات التحليلية المطلوبة ضمن ترخيص NPDES، بما في ذلك اختبارات المتحوّلات التقليدية، والمواد السامة، والمراقبة الحيوية. يتضمن مَسك السجلات وإعداد التقارير، توثيقاً مفصلاً للمرافق المادية، والتشغيل، والصيانة، وعلاقات العمل، وسجلات العاملين، وإعداد التقارير. ولمراقبة الامتثال للقوانين، تُختبر أجزاء منفصلة من العينات من قِبل وكالة التنظيم للتحقُّق من دقة اختبارات مختبر المحطة.

إن الهدف الرئيس من التحريات التنظيمية هو التحقُّق من مدى الامتثال لبرنامج NPDES للمراقبة الذاتية. لذلك، فالاهتمامات الرئيسة هي الحمولات الهيدروليكية والعضوية للمحطة، ونوعية مياه صرف التدفق الخارج، والطّرح السليم للمواد الصلبة في الحمأة. يتطلَّب تقييم محطة معالجة اختبار عملية كل وحدة وذلك لدراسة تشغيلها بالتفصيل ولمعرفة كيفية إنجاز العملية في إطار مخطط المعالجة العام. والخطوة الأولى لتقييم الإنجاز هي رسم مخطط العملية بحيث يظهر التشغيل العادي. وينبغي تدوين تغييرات المعالجة للإيفاء بظروف انسياب وحمولة غير عاديين. والخطوة الثانية تحديد أبعاد كافة وحدات المعالجة من القياسات الحقلية ورسوم التصاميم. كما ينبغي انتقاء نقاط الاعتيان بحرص لضمان جمع أجزاء أو انسيابات ممثلة لتشكيل عينة مركَّبة. فإن لم تتوفر منافذ وصول أو معدات قياس الانسياب لكافة الانسيابات الرئيسة ضمن المحطة، ينبغي عندئذ إجراء تعديلات فيزيائية للسماح بعزل كلٍّ عملية وحدة على حدة بغية دراستها. وأخيراً وجوب قيام المختبر بإنجاز فحوصات روتينية وفقاً للإجراءات المقررة.

قد تملي دراسات خاصة وعمليات محدّدة تحليل COD، (والدهون، والفوسفور، وأشكال مختلفة من النتروجين، والكبريت، والأحماض الطيّارة، وتحاليل الغاز، وإمكانية ترشيح الحمأة، وامتصاص الأكسجين الحيوي، والمعادن الثقيلة، أو TOC.

يقترح المخطط البياني لعملية المعالجة في محطة حمأة منشطة، والظاهر في الشكل 12-1، برنامج اختبار الحدّ الأدنى لتقييم المحطة. تتطلَّب مراقبة التدفّق بين

الداخل والخارج اختباراً روتينياً للـ BOD، وSS، وpH. وقد تُضمَّن في بعض المواقع، اختبارات لتقويم عدد القولونيات البرازية، ومتبقي الكلور، والفوسفور، ونتروجين الأمونيا، ووجود المعادن الثقيلة. ومن المواد التي تَعبُر حدود محطة المعالجة، المواد الكيميائية المكيَّفة الداخلة بهدف التثخين ونزع مياه الحمأة، والرمل وكعكة الحمأة الخارجة للطرح. إن لانسيابات إعادة التدوير، بما فيها الرشاحة، والجزء الطافي، ومياه الصرف، تأثيرات معتبرة في الانسياب والحمولة وتتطلب مراقبةً مستمرة.



شكل 12-1: مخطط سيرورة بياني نموذجي لمعالجة مياه الصرف بواسطة حمأة منشطة تظهر وحدة سيروروة مترابطة

فحص العمليات المنفردة

يتطلب فحص عمليات وحدة منفردة فهماً لما يأتي: (1) الهدف من كل عملية وحدة ووظيفتها في المخطط العام للمعالجة، (2) الإجراءات المناسبة للتشغيل، (3) الأداء المتوقع تحت كافة الظروف، بما فيها القيم الدنيا والقصوى المتوقعة. يجب أن يتضمن جمع العينات، اختباراً مركّباً لكافة الانسيابات الداخلة والخارجة وتوثيق

الطريقة الفعلية للتشغيل، ويجب بالطبع اختبار الوحدة لكشف أيّ أعطال فيزيائية قد تحول دون تشغيل مُرض.

تتضمن قياسات تقييم الترسيب الأولي، الانسياب، وتراكيز الــ BOD والــ SS في التدفّق الخارج، حجم الحمأة المسحوبة ومحتواها الإجمالي من المواد الصلبة. يُمكن حساب معدّل فائض الانسياب، وحمولة السد، وزمن الاحتفاظ من انسياب مياه الصرف، ومقارنة هذه القيم بمتحوّلات التصميم لإظهار وضع الحمولة في الخزّانات. وبالرغم من أن كفاءة الترسيب الأولي غالباً ما تكون مرتبطةً بإزالة الــ BOD والــ SS، إلا أن كمية محتوى المواد الصلبة في الحمأة المسحوبة لها الأهمية نفسها كمقياس لأداء مُرض. يمكن أن ينتج التثخين السيىء للحمأة في خزان ترسيب، إما عن حمولة هيدروليكية أو إجراءات تشغيل سيئة. فعلى سبيل المثال تُنتَج كمية حجمية من الحمأة رقيقة القوام إذا تسبَّبت معدّلات ضخٍّ عالية بسحب الماء من فوق طبقة الحمأة المترسبة.

يتم اختبار التهوية الحيوية الثانوية على أساس كلٍّ من إزالة المادة العضوية وخصائص حمأة الصرف المنشِّطة. وللنظر في وظائف الترويق – التهوية وفق اعتبارات إزالة الــ BOD والــ SS، وذلك بدون اعتبار تركيز المواد الصلبة في حمأة الصرف، يجب تجاهل دور تثخين التكدُّر الحيوي. ويمكن ضبط كل من الإمداد بالهواء، ومعدل إعادة تدوير الحمأة المنشطة، وطرح الحمأة لتوفير أثخن حمأة صرف مُمكنة مع المحافظة على تدفُّق مياه صرف صافية. ويمكن تحديد الأداء النموذجي من خلال التشغيل لدى مستويات مختلفة للأكسجين المُذاب، وتراكيز للمواد الصلبة المعلّقة في المحلول الممزوج، ونسبة غذاء –عضويات مجهرية مع اختبار يُشرَف عليه بدقة.

يتطلب تعقيم التدفق الخارج تحليلاً دقيقاً للتأكد من الاستخدام الكافي للكلور، ويمكن أن تتسبب وحدات التعقيم التي تعمل بشكل سيىء، بوجود متبقي كلور فائض يُحمل إلى المجاري المائية المتلقِّية. ويمكن قياس متبقي الكلور بجرعات مختلفة

لدى ظروف انسياب مختلفة ومقارنتها بالفحوص المخبرية على عينات مياه الصرف التي بقيت لفترة التّماس نفسها مع الكلور. يقدِّم نظام كلورة كفؤ مزجاً أولياً سريعاً لمحلول الكلور في مياه الصرف، يعقبه زمن تماسٍ مناسب في حوض انسياب سادّ. وتكون المراقبة الأوتوماتيكية للمتبقي ووحدات التحكم بالتغذية المرتدة، ضروريةً غالباً لمنع حدوث تعقيم غير مناسب أو جرعات زائدة.

ويتم الحكم على تشغيل مثخن حزام الثقالة، بناءً على تركيز المواد الصلبة في الحمأة المثخَّنة وعلى صفاء الرشاحة. ومن أجل حمولة حمأة صرف منشِّطة معطاة، فإن متحوِّلات التثخين بالحزام الثقالي تتضمن الحمولة الهيدروليكية، وحمولة المواد الصلبة، وجرعة البوليمير. لقد برهنت هذه العملية فاعليتها في تثخين حمأة صرف، وإمساك المواد الصلبة على نحو ممتاز يتجاوز عادةً 95%. ومن الواضح أن التركيز العالي للمواد الصلبة في التدفق الداخل يتطلب جرعةً مخفَّفةً بهدف فصل المواد الصلبة المعلَّقة. ولذلك فإن تشغيل نظام التهوية الحيوي مباشرةً يؤثِّر في عملية تثخين الحمأة، ويتم عادةً تصريف فائض الحمأة المنشطة من خط إعادة التدوير، والعودة من قاع المروّق النهائي إلى بداية حوض التهوية. فإنْ كان الانسياب مُعاد التدوير أكبر من الحجم المطلوب للحمأة المترسبة في المروّق النهائي، عندئذ يتم تخفيف المواد الصلبة المترسبة عبر ضخ مياه الصرف المروّقة العلوية، الأمر الذي ينتج منه انسياب أرقّ قواماً مُعاد التدوير. ومن أجل تشغيل نموذجي للمحطة، ينبغي استخدام المروّق النهائي للتثخين الثقالي لحمأة منشِّطة وذلك بهدف الإقلال من ضخ إعادة التدوير ولزيادة محتوى المواد الصلبة في الانسياب المرتدّ وحمأة الصرف المرتدة. يتم تقدير الأداء الإجمالي لهضم لاهوائي للحمأة، من خلال اختزال المواد الصلبة الطيّارة، وإنتاج الغاز وتركيبه، وصفاء الجزء الطافي المسحوب. يتضمن التحكُّم التشغيلي مراقبة كلٍّ من درجة حرارة الحمأة قيد الهضم، ومزج هاضمات المعدّل العالي، ومعدّل التغذية بالحمأة الخام، وزمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة.

يتطلب تقييم عملية النزع الميكانيكي للماء من الحمأة عادةً دراسات مستفيضة، نظراً إلى تضمنها اعتبارات اقتصادية مرتبطة بزمن التشغيل، والجرعة الكيميائية،

وطرح كعكة الحمأة. ونظراً إلى كون كمية المواد الكيميائية المُستخدمة مرتبطة بتركيز المواد الصلبة في التغذية بالحمأة، يُعدّل النزع المُرضي للماء منها بناءً على التشغيل السابق لوحدة معالجة مياه الصرف وتثخين الحمأة. يتوقف غالباً تقييم الأداء على ناتج الحمأة والمواد الصلبة للكعكة بغض النظر عن كفاءة إمساك المواد الصلبة أو نوعية الرشاحة، والتي يكون اعتيانها صعباً في الأغلب. إن معالجة المواد الصلبة جزء مكمّل لتقييم المحطة.

يجب أن يُنظر إلى تشغيل كافة المحطات التي تعيد الانسياب إلى بداية المحطة بحذر. وقد تعيد معالجة الحمأة الجزء الطافي من الهاضمات الهوائية واللاهوائية، وفائض الانسياب من متخِّنات الثقالة، والانسياب السفلي من متخنات التعويم، والركازة من النابذات، والرشاحة من متخنات الحزام أو مرشحات الضغط. يمكن أن تتسبب عودة المواد الصلبة المعلَّقة الفائضة بإعادة تدوير المواد الصلبة الناعمة ضمن محطة المعالجة. فمثلاً إذا أضيفت مواد كيميائية مكيَّفة غير كافية في عملية نزع الماء، فقد تحمل الرشاحة كميةً كبيرةً من المواد الصلبة وتعيدها إلى التدفق الداخل إلى المحطة. ونظراً إلى كون المواد الصلبة موجودةً أصلاً في الطبيعة بصورة غروية، فإنها تمر عبر الترسيب الأولي ليتم إمساكها في التهوية الحيوية. تعاد من بعد ذلك إلى حمأة الصرف المنشطة للتثخين ولنزع الماء مرة أخرى. يمكن أن تقود إعادة تدوير المواد الصلبة إلى تحميل زائد واضطراب كافة الأنظمة. لكن عموماً لوحظ وجودها لأول مرة في تخفيف الحمأة الأولية ومن خلال احتياج الأكسجين المتزايد في التهوية الحيوية.

تقدير إمساك المواد الصلبة في عمليات الحمأة

هناك طريقة سهلة نسبياً لتقدير إمساك المواد الصلبة عبر تثخين الحمأة أو بواسطة وحدة نزع الماء، هي قياس تراكيز المواد الصلبة في انسيابات العملية. والشكل 12-2 ، وحدة معالجة افتراضية تكون فيها العلاقات الآتية واضحة.

إن توازن كتل المواد الصلبة كالآتي:

$$M_S = M_F + M_C \quad \textbf{(1-12)}$$

حيث M_S = حجم المواد الصلبة في الحمأة

M_F = حجم المواد الصلبة في الرشاحة

M_C = حجم المواد الصلبة في الكعكة

وتوازن انسياب المحلول :

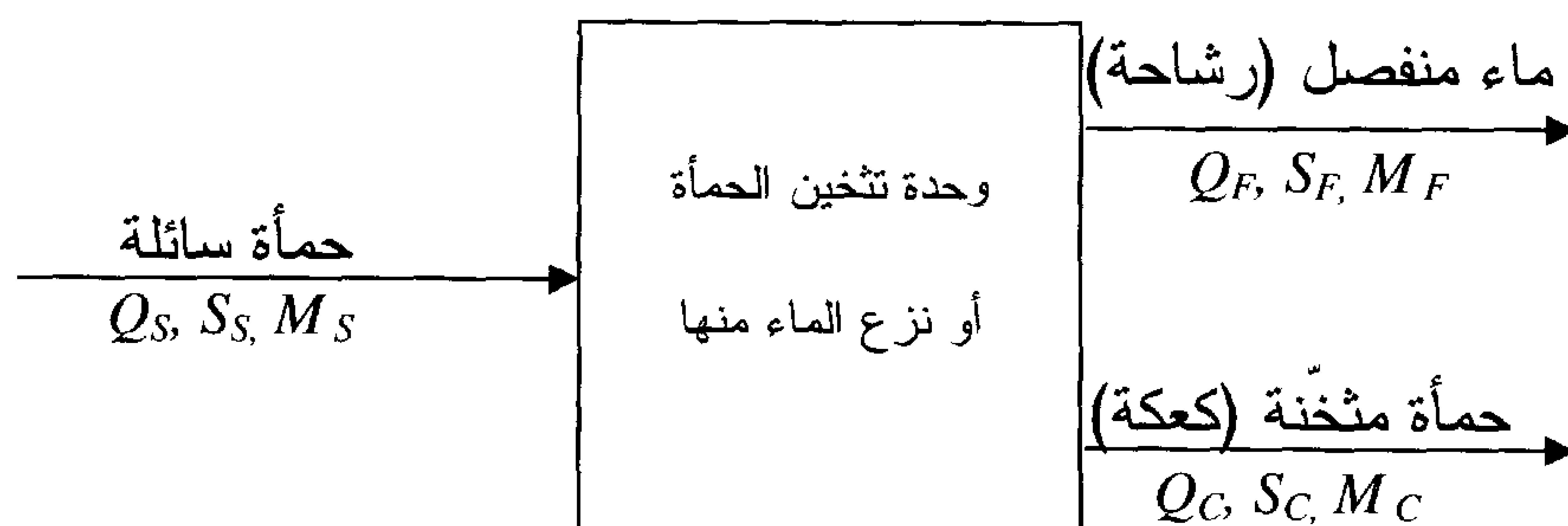
$$Q_S = Q_F + Q_C \quad \textbf{(2-12)}$$

حيث Q_S = انسياب الحمأة

Q_F = انسياب الرشاحة

Q_C = انسياب الكعكة

ومن دون إدخال خطأ كبير، يمكن افتراض أن الثقالة النوعية لكل الانسيابات تساوي 1.0.



شكل 12-2 مخطط تنظيمي لوحدة معالجة حمأة للمعادلات 12-1 إلى 12-4، Q معدّل الانسياب، S تركيز المواد الصلبة، M كتلة المواد الصلبة

(فعلى سبيل المثال، تحوي حمأة مياه صرف ما نسبته 10% من المواد العضوية الصلبة ذات جاذبية نوعية قدرها 1.02 تقريباً) ومن ثم

$$M = S \times Q \quad \textbf{(3-12)}$$

ويعطي دمج هذه المعادلات التالي:

$$\frac{MS}{MC} = \frac{S_C\ (S_S - S_F)}{S_S\ (S_S - S_F)} = \text{جزء إزالة المواد الصلبة} \qquad (4\text{-}12)$$

حيث S = تركيز المواد الصلبة

وهذه المعادلة سهلة الحل لعدم الحاجة إلى كميات حجمية.

وتركيز المواد الصلبة S إما أن يكون مواد صلبة إجمالية (متبقي بنتيجة التبخر) أو SS (متبقي غير قابل للترشيح)، وهذا الأخير هو الأكثر شيوعاً. إن اختبار SS بواسطة تقنيات مخبرية قياسية عبر مرشح ليف زجاجي، أمر قابل للتحقيق في المعلّقات المخففة. وقد تكون المواد الصلبة المُذابة ، جزءاً رئيساً من المواد الصلبة الكلية في الجزء الطافي أو الرشاحة بسبب التركيز المنخفض للـ SS. غير أنه من الصعب فحص انسيابات الصرف ذات المحتوى المرتفع من المواد الصلبة بدقة بواسطة الترشيح المخبري. ولذلك، تُنجز تحاليل SS لعينات الحمأة، بواسطة اختبارات المواد الصلبة الكلية، ثم تُصحَّح عبر طرح تركيز المواد الصلبة المُذابة المقدَّرة. ولا يتسبب هذا الإجراء بحدوث خطأ كبير لأن محتوى المواد الصلبة المرشحة لا يتعدى 5% من المواد الصلبة الكلية في عينات الحمأة. ويظهر الشكل 12-1 استعمال هذه التقنية الحسابية.

مسك السجلات

إن تسجيلات كاملةً ودقيقةً لكافة أطوار تشغيل وصيانة محطة ما، أساسية، وغالباً ما يتم ملء سجلات يومية لاختبارات موسّعة وتسجيلات الانسياب، ولا يتم استعراضها إلا إذا حدث في المحطة مشاكل تشغيلية جدّية أو إن تطلّب الأمر توسيعاً للمحطة. إن برنامج اختبارات صارم من دون هدف موجَّه يضيِّع الجهد، إن لم يزد الأمر سوءاً، ولا يحقِّق الهدف منه. إن تنفيذ برنامج اعتيان واختبار فعّال هو أحد التقييمات المستمرة. يمكن أن تستعمل البيانات المجمّعة لحساب الحمولات الهيدروليكية والعضوية على كافة عمليات الوحدة ولتحديد مناطق المشاكل في أثناء

تشغيل مرتبط بالمياه الصناعية، أو بالارتشاح أو بالانسياب الداخل. ومن خلال عملية تحليل التسجيلات المتراكمة، ستُلاحظ الأخطاء أو الإهمالات المرتكبة في إجراء الفحوص المخبرية، إن إحدى الطرق القيّمة في جمع البيانات هي تتبُّع المواد الصلبة المعلّقة عبر عمليات المعالجة، وتحديداً الإزالة من المحلول المعلّق في الوحدات الأولية والثانوية، والتثخين، ونزع الماء، والطّرح النهائي. ومن بيانات المحطة المتعلّقة بإنتاج الحمأة، وكفاءة التثخين، وعمليات نزع الماء، وعمليات أخرى قيّمة للغاية للمهندس المسؤول عن تعديل أو توسيع مرفق قائم. كما إن نوعية التدفق الخارج ذات قيمة كمقياس للأداء العام للمحطة.

مثال 12-1

قوِّم أداء نابذة تقوم بعملية نزع مياه حمأة مهضومة لاهوائياً، بهدف تقدير كفاءة إمساك وإزالة المواد الصلبة المعلّقة. اختُبرت عينات الحمأة السائلة والكعكة لتحديد تركيز المواد الصلبة المعلّقة. وفي ما يأتي نتائج التحاليل المخبرية:

معدل تغذية النابذة = 200 gpm

المواد الصلبة في تغذية النابذة = 35000 mg/l أو 3.5%

المواد الصلبة في الكعكة = 28% أو 280000 mg/l

المواد الصلبة المعلّقة في الركازة = 1200 mg/l أو 0.125%

$$\text{كفاءة الإزالة} = \frac{28\,(3.5-0.12)}{35\,(28-0.12)} = \frac{94.6}{97.6} = 97\%$$

12-2 استطاعة المجرور

تُثبَّت خلال التصميم استطاعة المجرور من خلال اختيار قطر الأنبوب وانحداره. تتضمن قيم التصميم افتراضات تصميم لكميات الصرف وللحصص المخصّصة للترشيح والانسياب الداخل. ويمكن منح ترخيص باستطاعات مخفَّضة بسبب انسيابات عواصف مستقبلية أو ترسُّب الرمل الخشن في المجارير. تتطلّب

الوصلات الحديثة استعراض استطاعة المجرور اعتماداً على تأثير الانسيابات المستقبلية وتقديرات الظروف الحالية.

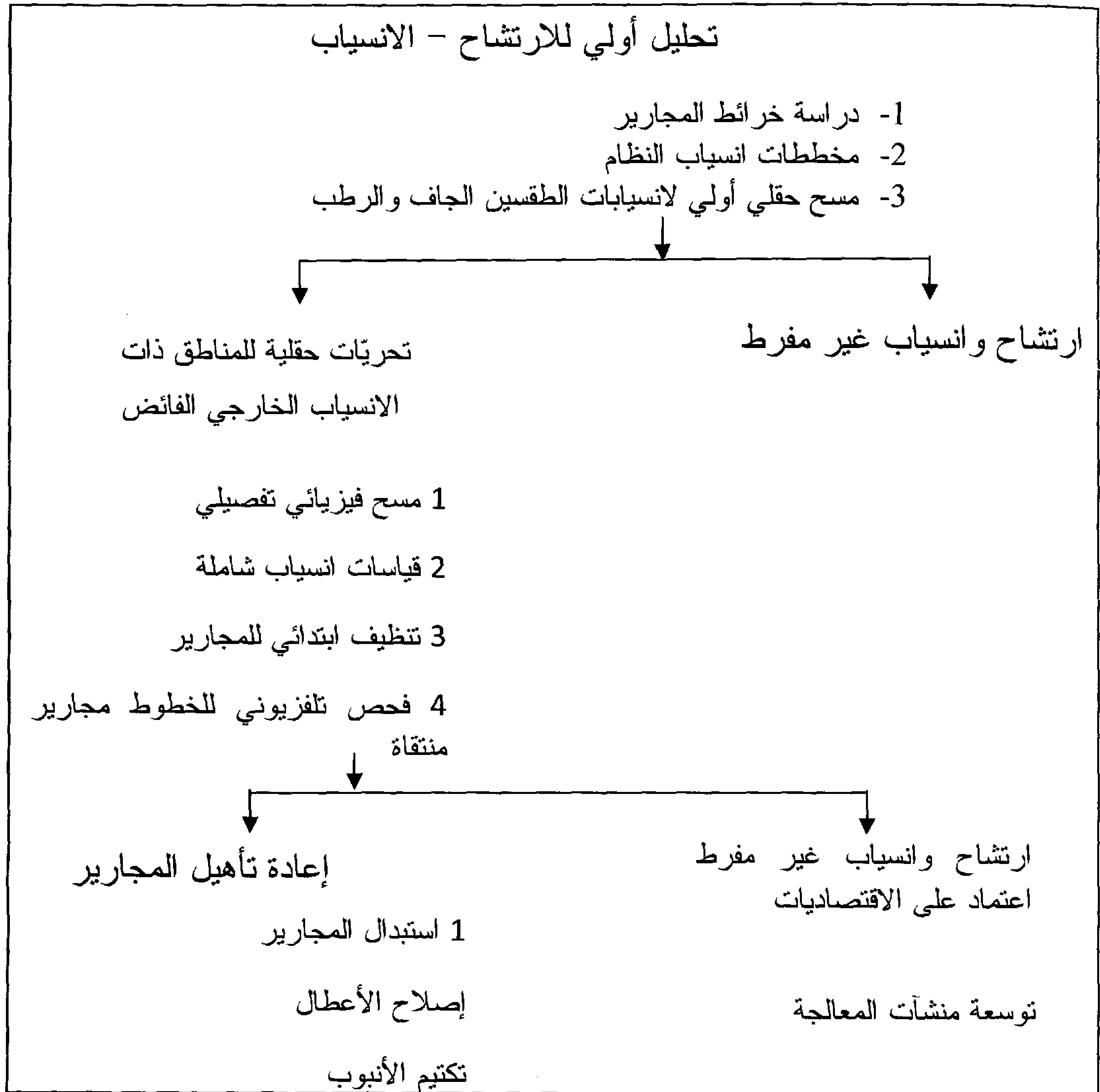
مسوحات الارتشاح والانسياب للداخل

إن مدخل المياه الخارجية إلى أنظمة المجارير مثار قلق نتيجة أسباب عديدة. وتتضمن هذه الأسباب تحميلاً إضافياً على المجرور خلال فترات الهطول الغزير، ما يسبِّب فيضان الأقبية، وحمولةً زائدة على مرافق محطة المعالجة، وإرهاق محطات الضخ، وتكاليف إضافية لمعالجة انسيابات مياه الصرف المخففة، ومخاطر صحية ناجمةً عن طرح مياه صرف خام. وفي الماضي، كانت تُعالج مشاكل الارتشاح الزائد والانسياب للداخل غالباً ببناء مجارير مساعدة تتجاوز محطات المعالجة لتنساب مباشرة إلى المجاري المائية السطحية. لقد مكَّن هذا الإجراء من معالجة مياه الصرف على مدى 90-95% من الزمن وبدا أنه خيار التصميم الاقتصادي الأفضل. أما الهدف اليوم فهو استبعاد هذه الطروحات الملوّثة، الأمر الذي يتطلب معالجة كافَّة انسيابات مياه الصرف حتى في أثناء فترات الذروة.

يتسبب الارتشاح من دخول المياه الجوفية خطوط المجارير عبر وصلات سيّئة أو شقوق في الفتحات أو أنابيب المجاري، تنتشر مصادر الارتشاح ويكون الانسياب ثابتاً نسبياً في الأوقات التي تكون فيها مناسيب المياه الجوفية مرتفعة. تردُ الانسيابات الداخلة من الاتصالات المباشرة كصرف الأسطح، والتي تتسبب بمعدلات انسياب عالية فجائية خلال فترات قصيرة. تعتبر كمية الارتشاح – الانسياب للداخل بأنها الانسياب الأقصى لمياه الصرف مطروحاً منه صرف الذروة المحلي والصناعي. وبكلمات أخرى، هو الفرق بين قياسات انسياب الذروة خلال الطقس الرطب والطقس الجاف.

تتضمن المقاربة المنهجية لنظام مجارير تحديد كمية طبيعة الارتشاح – الانسياب، وعزل مناطق المشاكل، ومن ثم تحديد الإجراءات التصحيحية الاقتصادية.

والبدائل الأساسية هي إما إعادة تأهيل نظام المجارير، أو تخفيف الانسيابات الخارجية، أو توسيع مرافق المعالجة لمعالجة انسيابات الذروة في الطقس الرطب.



شكل 12-3: مخطط يبين الخطوات العامة المتضمّن في تقويمات الارتشاح والانسياب لأنظمة جمع مياه مجارير صحيّة

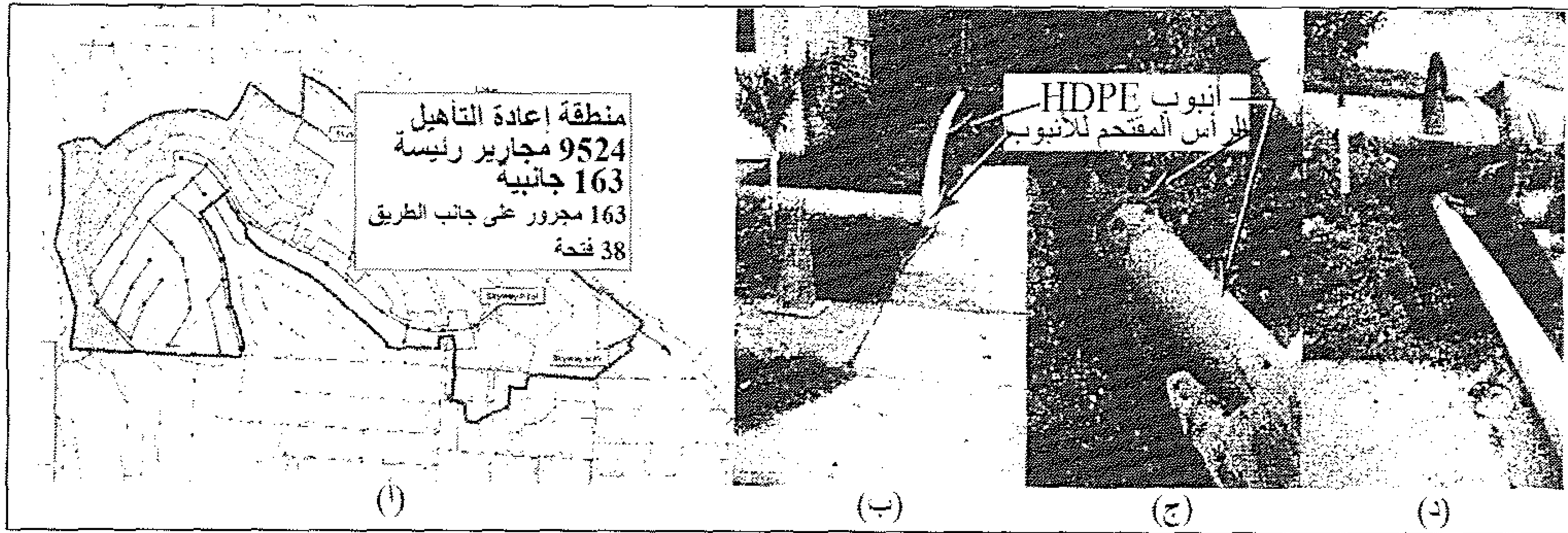
يعرض المخطط في الشكل 12-3 المقاربة العامة المُستخدمة في مسوحات الارتشاح – الانسياب. والخطوة الأولى في ذلك هي تحليل وتحديد حجم المشكلة.

يُقسم نظام المجارير إلى مناطق تقوم بالتصريف إلى نقاط أساسية مثل الفتحات أو محطات الضخ. ثم تُنجز من بعد ذلك اختبارات الانسياب لتقدير تصاريف الذروة. ومن الواضح ضرورة إجراء القياسات في الأوقات المناسبة خلال كل من الطقس الجاف ووقت ارتفاع منسوب المياه الجوفية وفي حالات الهطول المطري. ويكشف تقييم هذه البيانات ما إذا كان الارتشاح أو الانسياب هو المسؤول.

ثم تُجرى تحريّات حقلية تفصيلية في هذه المناطق التي تُعتبر فيها الانسيابات مفرطة. تبدأ التحريات الحقلية بمسح الظروف الفيزيائية، والتي تتطلب الهبوط في كل فتحة في منطقة الدراسة والفحص البصري لأنابيب المجاري. وغالباً ما يكشف ذلك عن أعطال لا تتضح بمجرد النظر في الفتحات من منسوب الشارع. ويمكن كشف وصلات عرضية من مجارير مياه العواصف ومن تصاريف غير مرخّصة ملحقة بالمجارير الصحية عبر استخدام دخان بضغط منخفض أو صبغات قفّاءة تُضاف إلى الماء. إن استبعاد الانسيابات للداخل والتي لوحظت خلال المسح الفيزيائي، يخفِّف غالباً وبشكل ملموس، تصاريف الذروة. ولهذا السبب، قد يتطلّب الأمر قياسات انسياب إضافية. وأخيراً يتم فحص خطوط المجارير هذه والتي حدّدت بأنها مصدر الارتشاح والانسياب المفرطين، باستخدام التلفاز الفاحص، والذي ينبغي أن يسبقه تنظيف ابتدائيّ. لقد وجد الكثير من البلديات أن كميةً معتبرةً من الارتشاح تحدث في المجارير الجانبية الواقعة في ما بين البيت والمجرور. وقد وُضِع جدول لاستبدالها بالرغم من أن ملكيتها عائدة لصاحب البيت.

يمثل التقرير النهائي للمسح الحقلي بيانات من التحريات، وتوصيات لبرنامج إعادة تأهيل المجرور، والأهم من ذلك تقييماً اقتصادياً للمشكلة. تُقارن إعادة التأهيل بتكاليف توسيع مرافق المعالجة للتعامل مع المياه الخارجية الداخلة. قد يتضمن إصلاح المجرور استبدال خطوط الأنابيب، إصلاح التردّي البنيوي أو الأعطال، أو تكتيم الفتحات بإغلاقها من الخارج بمادة مناسبة، أو بتبطين الأنبوب. ينبغي تحديد التقنية الأفضل والأكثر اقتصادية انطلاقاً من الظروف المحلية والخبرة. يظهر الشكل 12-4 رسماً يحدد منطقةً من نظام المجارير يجب إعادة تأهيلها. وقد تتضمن

إعادة تأهيل المجارير تبطيناً منزلقاً، أو تبطيناً يجري إصلاحه في المكان، أو فتح الأنبوب بالقوة. يتم إدخال التبطين ضمن الأنبوب الموجود ويشغل حيزاً من قطر الأنبوب. يتم إدخال التبطين الذي يجري إصلاحه في المكان باستخدام ضغط الهواء ويتم إصلاحه بواسطة الهواء الساخن أو الماء. يستخدم فتح الأنبوب بالقوة عندما يُقحم رأس أنبوب من الفولاذ أكبر من الأنبوب القديم عبر أنبوب الفخار المزجَّج الموجود. إن ميزة فتح الأنبوب بالقوة هي أن يحل محل الأنبوب القديم بآخر أكبر، محافظاً على استطاعة الأنبوب أو يزيدها. تتضمن طرائق إصلاح الفتحة طبقة من إسمنت عالي الضغط، أو طلاء مقاوم للمياه من البولي إيثين، أو رغوة قابلة للحقن، أو مواد تكتيم تُستخدم على السطح. وعادةً تحفر وتستبدل المجارير الجانبية وتلك على جانب الطريق. وتؤدي إعادة التأهيل الكاملة هذه لنظام المجارير تخفيضاً للارتشاح والانسياب للداخل بنسبة 70 إلى 90%.



شكل 12-4: خريطة لإعادة تأهيل منطقة وصور لإدخال أنبوب بالقوة لإعادة تأهيل مجرور. (أ) ضمن منطقة التأهيل، 100 من خطوط المجارير والفتحات الرئيسة تم تأهيلها إضافة إلى المجارير الجانبية وتلك التي على جانب الطريق. (ب) و(ج) صور للرأس المقتحم لأنبوب فولاذي وأنبوب مجرور HDPE البديل . (د) الرأس المقتحم والأنبوب وهو يُسحب عبر مجرور VCP. يتم وصل HDPE بالمجارير الجانبية للخدمة، وتقطع نهايتها لتفتح على الفتحة

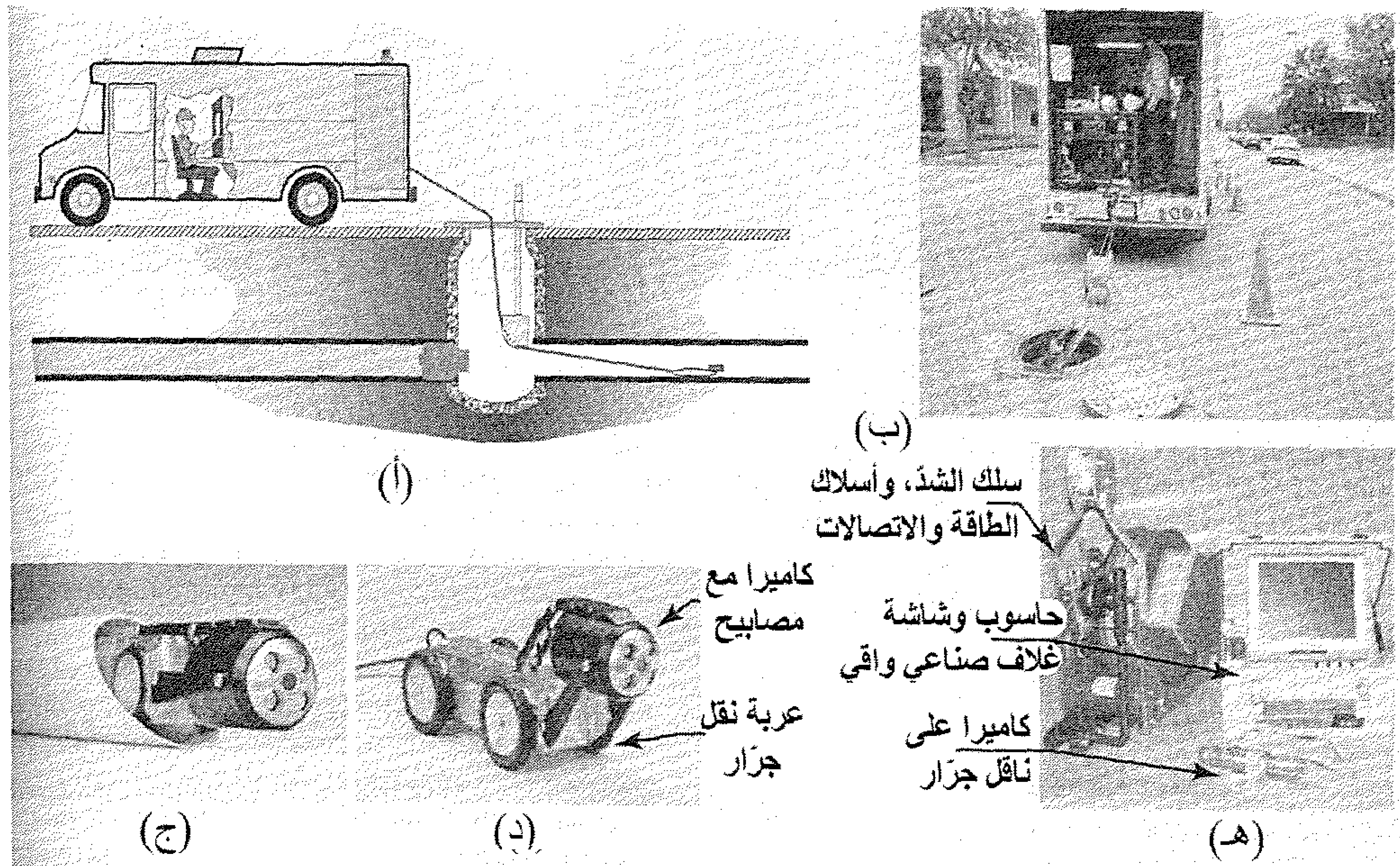
التحري عن المجارير

يمكن تفتيش أنظمة التجميع للتحقُّق من سلامتها البنيوية بواسطة عدّة تقنيات. إن الكشف بواسطة الدخان منخفض الضغط طريقة سهلة لتحديد مواقع الفتحات

المتصلة مع الغلاف الجوي، كوصلات الخدمة التي تُركت من دون أن تُغلق من بيوت انتقل قاطنوها، ومن الوصلات العرضية مع مجارير مياه الأعاصير، ومن وصلات التصاريف غير المرخّصة. ونظراً إلى حاجة الجرذان إلى منفذ يصلها بالمناطق الجافة فوق فتحة المجرور، فإن اختبار الدخان طريقة جيدة لتحديد فتحات ولوج القوارض. يتم نفخ حجم كبير من الهواء مع الدخان في خط مجرور من خلال فتحة وذلك بواسطة آلة نفخ هواء – دخان. بانسياب الدخان باتجاه معاكس لانسياب الماء، يتبع الدخان أنابيب المجارير حتى وصوله إلى فتحة يصعد منها إلى السطح عبر خط الصرف أو الشقوق الموجودة في الأرض. وفي الوقت نفسه يختبر الدخان المجارير، ووصلات البيوت، ومواسير البيوت. يتميز الدخان بكونه غير سام، ولا يترك أيّ متبقٍ يمكن أن يؤذي الأجزاء الداخلية للأبنية بالرغم من تسببه بضيق تنفس. وقبل اختبار الدخان ينبغي أن يُخطَر قاطنو الأبنية على امتداد خط المجارير به، لتقليل احتمال انطلاق أجهزة الإنذارات. فإن دخل الدخان إلى بناء، ينبغي أن يُخلى شاغلوه وأن يُهوّى الجزء الداخلي للبناء في أثناء تحديد نقطة دخول الدخان إليه. إن أفضل طريقة لتفتيش الجزء الداخلي لأنبوب صغير القطر هو تلفزيون دارة مغلقة. فبعد تنظيف خط المجارير تُسحب كاميرا فيديو مثبتة على زلاجة عبر الأنبوب ويتم بثّ صورة مستمرة إلى مستقبل في شاحنة الخدمة. تسمح هذه التقنية بفحص بصريٍّ وتحديد مواقع الضعف البنيوي، ويمكن إعادة عرض شريط الفيديو لفحص لاحق ويتمّ الاحتفاظ به كتسجيل دائم.

يظهر الشكل 12-5 مخططاً للأجزاء الرئيسة لمعدّات التفتيش التلفزيوني. وكما هو موضّح في الأشكال (12-5أ وب)، تقف الشاحنة بالقرب من الفتحة، ويتم تركيب سدادة في الفتحة الواقعة أعلى الانسياب لقطع الانسياب، وتُشدّ الكاميرا إلى حبل، ويقوم مشغل الكاميرا الموجود في الشاحنة بالتحكّم بها وبالحاسوب، ويراقب موقعها وكذلك حالة المجرور. ويتم ترميز تسجيل الفيديو وحفظه للرجوع إليه مستقبلاً. وغالباً ما يقوم المشغّل بتوثيق نمط وشدّة تضرُّر الأنبوب للإصلاح المستقبلي تبعاً للموقع ولنمط الضرر، وشدته كي يجدول أولويات الإصلاح. إن الكاميرا الظاهرة في الشكل (12-5ج ود) مركَّبة على عجلة بحيث يمكن رفعها أو خفضها لتتكيف مع

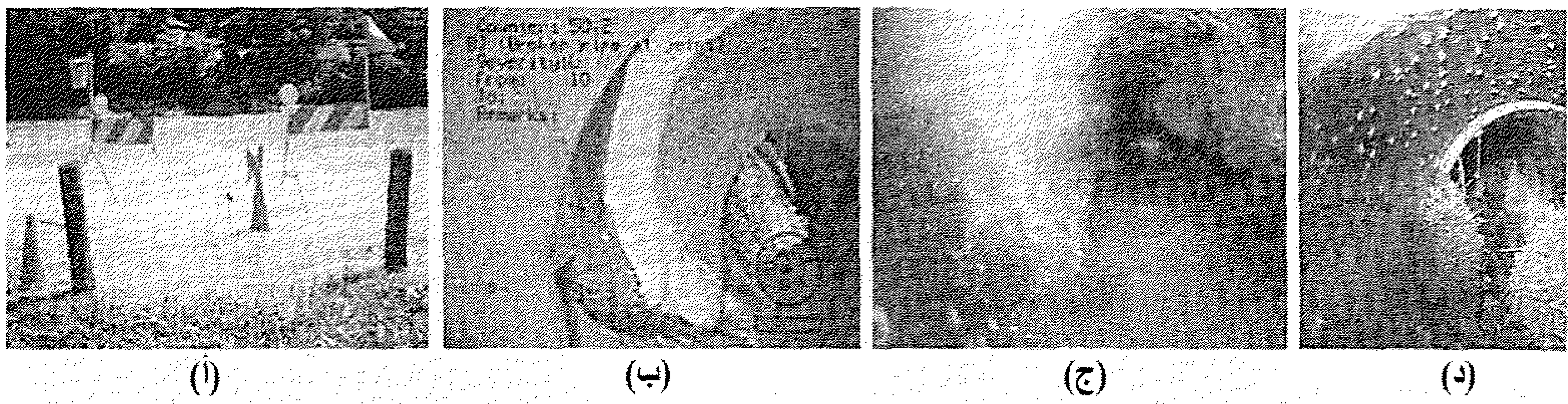
حجم الأنبوب. تسمح معظم مبادلات نقل جرار الكاميرا بتغيير قطر العجلة، والمواد، وأسنان علبة السرعة وذلك تبعاً لتغير الظروف. يمكن تحويل بعض الجرارات من عجلات إلى جرارات بدواسات. يظهر الشكل (12-5هـ) الحاسب وسلك الشدّ، وأسلاك الطاقة والنقل وكاميرا ذات نمط سحب. يتم سحب الكاميرا بين الفتحات باستخدام سلك من الفولاذ غير القابل للصدأ بواسطة رافعة. لقد أصبحت الكاميرات المركَّبة على مبادلات نقل جرار الكاميرا، أكثر انتشاراً بسبب الإعدادات المختصرة المطلوبة، ولقدرتها على استكشاف المجارير بدون الحاجة لسحبها.



الشكل 12-5: التحري التلفزيوني للمجارير. (أ) رسم تخطيطي لشاحنة CCTV مع مشغل وشاشة حاسب وكاميرا في المجرور. لقد تم سد أنبوب المجرور بواسطة كتلة معدنية مستطيلة لمنع الانسياب. (ب) صورة للشاحنة وللأسلاك المشدودة إلى الكاميرا. (ج) و(د) كاميرا مع مصابيح مثبتة على ناقل ذاتي الدفع. (هـ) صورة للحاسب، ولسلك الشد، ولكاميرا مركَّبة على زلاجة تسحب بواسطة السلك عبر المجرور

يظهر الشكل (12-6أ) مجروراً فائضاً في الشارع. تسمح شقوق المجرور كتلك الظاهرة في الشكل (12-6 ب) للتربة بالدخول في الأنبوب ولمياه المجارير بالتسرُّب من الأنبوب، مقوضاً سلامة وأهلية نظام المجارير. وبالترافق مع وزن التربة، قد

ينهار الأنبوب ويمتلئ بالتربة، مشكلاً سدّادة. وتظهر الصورة (6-12ج) تراكم الشحوم في المجرور. قد يتسبّب الافتقار إلى الصيانة في المطاعم، باصطياد الشحوم وتشكّل حمولة كبيرة منها قد تؤدي إلى انسداد المجاري. وتعيق الجذور، كتلك المبينة في الشكل (6-12 د)، الانسياب وتتسبّب بالمشاركة مع المواد الصلبة في المجرور بانسداد المجرور. وفي كل من الحالات المذكورة، فإن التقصير في صيانة المجرور أدَّت إلى حصر الانسياب ما يُفضي إلى دخول المواد الصلبة في مياه المجاري وانسداد المجرور وفيضانه.



(أ) (ب) (ج) (د)

شكل 6-12: صورة لفائض انسياب نظام مجارير وسدادة مجرور نامية. (أ) انسياب مجارير طافحة خارج الفتحة. (ب) شق في المجرور سامحاً بارتشاح المياه الجوفيّة والتي قد تتسبب مع الزمن بتكهف وانسداد الخط. (ج)تكدس الشحم ضمن المجرور. (د) جذور نامية ضمن خط المجارير عبر الشقوق في الأنبوب أو في فجوات عند الوصلات، ومن المحتمل أن تتسبب الجذور والمواد الصلبة بسد المجرور ما يمنع الانسياب

تنظيم استخدام المجرور

إن الهدف الرئيس من قانون المجاري هو ضبط التصاريف إلى المجارير الصحية لضمان التوصل إلى مقاييس نوعية مياه المجاري المائية المتلقّية، ولتحديد رسوم عادلة ومنصفة للزبائن لقاء خدمات مياه الصرف الصحي[1]. تتضمن مجموعة القوانين الشاملة تعليمات تقضي باستخدام المجارير العامة أنّى توفرت، وضبط طرح الصرف الخاص حال غياب المجارير العامة، وإنشاء وصلات خدمة، وضبط كمية وطبيعة مياه الصرف المسموح بها في المجارير العامة، وإجراءات اعتيان وتحليل مياه الصرف، وبنوداً حول سلطات وصلاحيات المفتشين، وبنداً جزائياً، وبنوداً أخرى قانونية، وتواقيع لشرعنة الوثيقة.

إن الاستخدام السليم للمجارير الصحية وفصلها عن مجارير مياه العواصف أمر أساسيّ في حماية الصحة العامة والإقلال من كمية الانسياب للداخل. ولا يُسمح بوجود خزانات مراحيض ولا بخزّانات صحية، إن توفرت خدمات المجارير. وفي حال عدم توفر المجارير العامة، توضَع تنظيمات ووثائق تتعلق ببناء المجارير وعزلها، ومراقبة الأنظمة الخاصة المنزلية وذلك لضمان عدم تلوّث المياه السطحية والجوفية. يجب استبعاد المياه غير الملوّثة من نظام الجمع الصحي، ويجب توجيهه إلى مجارير مياه العواصف أو إلى مخرج للتصريف الطبيعي أنّى كان ذلك ممكناً عملياً. ويتضمن ذلك انسيابات الميازيب، وتصريف الأساسات، ومداخل المياه السطحية، وبرك السباحة، ومياه التبريد من المكيّفات ووحدات التبريد الصناعي.

لا يمكن إدخال بعض التصاريف إلى المجارير الصحية، وهناك تصاريف أخرى ينبغي مراقبتها بعناية عبر تحديد قيود لطرحها. ويمكن تصنيفها في الأصناف الآتية:

(1) تصاريف يمكن أن تتسبب بخطر الانفجار، (2) مواد تضعف الاستطاعة الهيدروليكية. (3) ملوّثات تتسبب بخطر على الناس، وعلى نظام الصرف، أو على عملية المعالجة الحيوية. (4) التصاريف العنيدة والمقاومة والتي تمر عبر محطة المعالجة وتسبِّب تردّياً للممرات المائية التي تستقبلها. ومن الأمثلة على السوائل القابلة للاشتعال الغازولين (البنزين)، والمازوت، ومذيبات التنظيف. تتضمن المواد الصلبة واللزجة التي تشكِّل سدادات لمجارير الصرف، الرماد، والرمل، والبرادة المعدنية، والقمامة غير المقطَّعة، والشحوم والزيوت. ولكن أكثر سدادات المجارير شيوعاً هي تلك المتعلقة بنمو الجذور في خطوط المجارير، والتي يمكن تقليلها إلى الحد الأدنى عبر الحث على عدم زرع أشجار محدَّدة كالدردار، والحور، والصفصاف، والجميز، والقيقب قرب خطوط المجارير. وكإجراء وقائي ينبغي استخدام طرائق ومواد توصيل مناسبة عند التركيب بالقرب من مناطق قد تكون فيها الجذور مشكلة.

قد تحوي مياه الصرف الصناعي غير المراقبة، مركبات سامّة أو أكّالة. فعلى سبيل المثال يمكن لمركبات الكبريت ومياه الصرف مرتفعة درجة الحرارة أن تحث التشكُّل البكتيري لحمض الكبريتيك وتؤدي بالتالي إلى تآكل مقدِّمة المجرور. تتسبب مياه الصرف الحمضية بتآكل عكسي، وإن لم تكن مخفَّفة بشكل كاف، يمكن أن تتداخل مع عمليات المعالجة. ويمكن لأيونات معدنية كالكروم والتوتياء، ومواد كيميائية عضوية ولو بتراكيز قليلة، أن تؤدي إلى إعاقة النشاط الحيوي في تهوية الهضم اللاهوائي. وتُزال جزئياً فقط الأملاح المُذابة والمواد المسبِّبة للرائحة واللون بالمعالجة التقليدية. لذا فإن أفضل ما يمكن فعله لحماية الممرات المائية المتلقية لمثل هذه المواد، هو طرحُها بشكل منفصل في المواقع الصناعية بدلاً من طرحها في نظام المجارير. ومن الأمثلة على ذلك، المحاليل المائية المُستنزَفة شديدة الملوحة، ومياه صرف الأصبغة، والفينول. وحيثما تكون مياه الصرف متباينةً بشدة، يكون من الضروري تركيب خزّانات معدّلة لتفادي حمولات الصدمة على مرافق المعالجة.

وإضافةً إلى التحكّم بتغيرات النوعية عبر التحييد والتخفيف، فإن المعالجة المسبقة عبر التعديل يمكن أيضاً أن تؤمِّن تحكماً بالصرف لتلطيف وتخفيف الانسياب لتفادي حمولات الصدمة الهيدروليكية.

إن قياس واعتيان انسياب مياه الصرف الداخلة إلى نظام مجارير، أمر أساسيّ لإنفاذ قانون للمجاري، وفرض رسوم منصفة وعادلة لقاء استخدام المجارير.

تُطالَب كل صناعة بتركيب محطة اعتيان مناسبة تتراوح بين فتحة بسيطة لأخذ عيّنة، إلى بنية تتضمن مسجل انسياب وأداةً لأخذ العينة أوتوماتيكياً، كما تتضمن من ثم المحافظة عليها. يجب أن يتمتع المفتشون بصلاحية دخول كافة الممتلكات لأغراض المراقبة، والقياس، والاعتيان، واختبار كل ما هو وثيق الصّلة بطرح مياه الصرف.

إن مرافق الاعتيان وقياس الانسياب أساسيّة للغاية لوضع قانون للمجاري، ولذلك ينبغي إعطاء الإشادة والبناء اعتبارات أولية. وفي مُنشأة صغيرة، قد تتضمن التكاليف فقط تركيب فتحة للاعتيان. وقد يتطلَّب الأمر عدادات مياه إضافية لتقدير طرح مياه الصرف، فإذا افتُرِض أن مياه الصرف تساوي المياه المزوَّدة مطروحاً منها استهلاك ريّ المروج الخضر أو الطرح في مجارير مياه العواصف. إن محطات اعتيان مؤتمتة للصناعات الكبيرة، وبخاصة تلك التي تملك أكثر من مخرج لمياه الصرف، قد تكون توظيفاً ملموساً. يعتبر انتهاك قانون المجاري جنحةً أو سلوكاً مخالفاً للقانون أحياناً. وتتضمن العقوبات عادةً عقوبةً على كل انتهاك إضافةً إلى تكاليف الادعاء. وعند فشل المُستخدم في تصحيح التصريف غير المرخَّص، فإن المدينة تكون عادةً مخوَّلة بعدم الاستمرار بتقديم خدمات الصرف أو بالتجهيز بالماء أو كلاهما. وقد تتسبب الانتهاكات المتكررة بإلغاء الترخيص بالتصريف الصناعي. ويتطلب أيٌّ من هذه الإجراءات إنذاراً خطياً. وقد يحدّد القانون مجلساً للاستماع للشهادة بهدف التحكيم في الاختلافات بين المدينة ومؤسسة فُرِضت بحقها عقوبة.

ويتضمن القانون أيضاً قسماً حول الأتعاب والرسوم المترتِّبة على خدمة مياه الصرف. وأحياناً، يوضع ذلك في وثيقة مستقلة عن الوثائق التي تنظِّم استعمال المجارير، بحيث يمكن معالجة الموضوعين بشكل منفصل في جلسات الاستماع العامة وخلال إصدار القانون. وهذه مقاربة عمليّة على وجه الخصوص عند وضع مجموعة قوانين جديدة، نظراً إلى أنه لا يمكن جمع الرسوم على أساس انسياب مياه الصرف أو قوتها المفرطة، إلا بعد تركيب محطات الاعتيان.

رسوم وعوائد المجاري

تتضمن العوائد السنوية لنظام مجارير التكاليف المرتبطة بتشغيل وصيانة نظام الجمع، وبمحطة المعالجة، والمرافق الأخرى، وبالدفعات الرئيسة ودفعات فوائد

لتمويل الدين، أو لتحسين رأس المال الرئيس، وكذلك الدفعات الاحتياطية المطلوبة للالتزام العام أو سندات العوائد، وتكاليف إضافات رأس المال التي لم تُموَّل بدَيْن، مثل الاستبدالات المؤقتة، والتوسعات البسيطة للمرافق الفيزيائية والتي تُدفع من العوائد الراهنة. يجب أن يأخذ تخصيص متطلبات العوائد بالاعتبار كل تكاليف تقديم الخدمات. كما يجب أن يكون رسم الخدمة التي تُقدَّم لزبون متناسباً مع الاستخدام والفوائد المتلقاة. والتوصل لنظام عادل وسليم وعمليٍّ لتحصيل وتنمية العوائد السنوية من المُستخدمين تبعاً لمسؤوليتهم في هذه التكاليف، موضوع معقَّد.

تعكس رسوم خدمات مياه الصرف التي تستند إلى حجم التصريف وقوته، الاستخدام المادي الفعلي للنظام إلى درجة بعيدة، ولكن إنماء كافة العوائد على أساس الخدمة لا يلزم أيّ ملكية لم تجهز بعد، بالدفع لقاء توفر مرافق صرف سواء استعملت أم لم تستعمل، أو لمرافق ذات فائدة عامة نتجت من توفر مرافق ملائمة لمياه الصرف. بالرغم من أن نظام تكلفة الخدمة يغلُّ مصدراً ثابتاً نسبياً للمال ما يسمح بالتخطيط المنظّم، والتحديث، والتوسعة. إن أحد المزايا الرئيسة للتعامل مع مياه الصرف الصناعي، هو أن الرسوم المستندة إلى حجم وقوة هذا الصرف يشجِّع على تخفيف حمولات مياه الصرف عبر تعديلات ضمن المصنع، وعبر تحسين إدارة النفقات، واسترداد النواتج الجانبية، وإعادة استخدام الماء.

إن أكثر التكليف بالرسوم لقاء الانسياب عدالةً، هو اتباع معدّل موحّد لكافة المُستخدمين بغض النظر عن الحجم، ومن دون جدول لتناقص الرسوم مع زيادة الكمية. وفي الكثير من المدن، يعتمد استخدام مياه الصرف على قراءات عدّاد الماء خلال الشتاء عندما يكون استخدام الماء خارج المنزل في حده الأدنى. كما تُستخدم عدادات الماء لتقدير انسياب مياه الصرف من الصناعات الصغيرة والمؤسسات التجارية. تركِّب الصناعات الكبيرة مسجلات للانسياب تقوم بقياس مباشر للكمية المطروحة في مجارير المدينة.

يرتبط المكوِّن الثاني لتكلفة الخدمة بقوة مياه الصرف. ويُستخدم هذا عموماً كرسم إضافيٍّ لقاء تراكيز الملوّثات والتي هي أكبر من تلك الموجودة في مياه الصرف المحلية. إن متحوّلات قوة مياه الصرف المُستخدمة عادةً هي BOD والمواد الصلبة المعلّقة. والتي ينبغي تقديرها عبر تحليل عينات مركَّبة من طروحات صناعية وفقاً للخطوط الإرشادية المحدّدة في القانون. إن المعادلة 12-5 هي صيغة نموذجية لحساب رسوم الخدمة. إن الجزء الإضافي يتعلق بفائض من BOD يتجاوز 250 mg/l، ومن المواد الصلبة المعلّقة تتعدى 300 mg/l. لقد استخدمت هذه القيم لتطوير رسوم الخدمة في المعادلة 12-5.

(5-12) رسم خدمة مياه الصرف = رسم للحجم + رسم إضافي للقوة

$$= VRv + V\,[(\mathrm{BOD} - 250)R_B + (\mathrm{SS} - 300)R_S]\ .\ 8.34$$

حيث

V = متوسط حجم مياه الصرف، ملايين الغالونات

BOD = متوسط BOD، mg/l

SS = متوسط مواد صلبة معلّقة، mg/l

Rv = معدّل الرسم بالنسبة إلى الحجم، دولارات لكل مليون غالون

R_B = معدّل الرسم بالنسبة إلى الـــ BOD، دولارات لكل باوند

R_S = معدّل الرسم بالنسبة إلى الـــ SS، دولار لكل باوند

يجب أن يشترط جدول رسوم المجارير مبلغاً شهرياً أدنى لكل ملكية. وغالباً ما يُحدّد المقدار وفقاً لسلَّم متدرِّج يزداد بازدياد حجم خدمة الماء إلى الملكية. وأحد الأسباب وراء وجود حد أدنى للفاتورة هي تغطية نفقات وظائف الصيانة ضمن النظام حتى ولو لم تُستخدم. ويُشار إلى هذا الحد أحياناً بعامل الحق – إلى – الخدمة (حق الارتفاق). ويمكن أن يكون في المدن أيضاً رسماً لقاء أعداد وتجهيز وصلات الخدمة إلى نظام مجاري المدينة. وقد تتضاعل الرسوم بحيث تتم جباية

كلفة التحريات فقط. وقد ترتفع إلى حد أكبر من ذلك بكثير بحيث يتم جباية نصيب الملكية المتضمن في توسيع نظام المجاري.

مثال 12-2

احسب كلفة الخدمة لمياه صرف مصنع ألبان باستخدام المعادلة 12-5 اعتماداً على الآتي: الانسياب اليومي = 150000 gal، معدّل BOD = 910 mg/l، معدّل SS = 320 mg/l، كلفة خدمة الانسياب = $45.000/mil gal وكلفة إضافية قدرها ¢/lb 2.38 من الـ BOD الفائض، وكلفة إضافية قدرها ¢/lb 1.38 من الـ SS الفائض

الحل

بالتعويض في المعادلة 12-5

$$SC = 0.15 \times 450 + 0.15\ [(910\text{-}250)0.0238 + (320\text{-}300)0.0183]\ 8.34$$

$$= 67.50 + 20.10 = 87.60\ \$/\text{يوم}$$

12-3 إدارة أنظمة مياه الصرف

تتباين البنية المؤسّساتية بشكل كبير بين مرفق وآخر. ويفصل الكثير من المدن والوكالات، إدارة محطة المعالجة عن نظام المجارير، بسبب الطبيعة التخصّصية للعمل وبسبب التغيّرات الجغرافية. وقد يتفاعل العاملون في دائرة مياه الصرف مع مجموعة كبيرة من الدوائر الأخرى، مثل الدوائر الهندسية، والأشغال العامة، والبناء، والموارد البشرية، والأمان، وخدمات الزبائن، وخدمات المعلومات، والخدمات العامة.

تتضمن المعلومات المجمّعة حول المرفق العام، سجلات التشغيل والصيانة، وتتبع الشكاوى، ومراقبة الأداء، والإنشاء، ووثائق التقويم. ويعتمد مشغلو معالجة مياه الصرف وعاملو الصيانة على رسومات ومخططات ما تم تشييده، وعلى

كتيبات المعدات المُستخدمة والمقدمة من قبل المصنِّع للحصول على معلومات حول العمليات والمعدّات. ويحافظ موظفو نظام الجمع على رسوماتهم الخاصة بهم والتي تُظهر مواقع المجارير والفتحات. يسمح نظام المعلومات الجغرافي (GIS) بإلحاق معلومات حول النظام إلى الرسوم الإلكترونية للمجرور. قد يلجأ عاملو التشغيل والصيانة إلى قاعدة البيانات لإعداد، مثلاً، خريطة تبرز المجارير التي تم تنظيفها أو إصلاحها خلال الأشهر الستة الأخيرة، والمجارير التي يتوجَّب تنظيفها خلال الأشهر الستة القادمة. تساعد أنظمة إدارة الصيانة الحاسوبية عاملي الصيانة في تتبع أوامر العمل المتعلقة بالمكالمات التوقعية والوقائية ومكالمات طلب خدمات محدّدة. قد تستند الصيانة التوقعية إلى قراءات الاهتزاز أو الحرارة (تحت الحمراء) في أدوات دوّارة كهربائية. فعلى سبيل المثال، يمكن التنبؤ بعطل في كرسي التحميل (رولمان) من خلال زيادة اهتزاز الأداة، وكشف عطل القاطعة الكهربائية من قياس زيادة في حرارة الوصلة. تحرض أوتوماتيكياً القيم المبرمجة في الحاسوب أمر عمل لتقويم تشغيل الأداة خارج مجال الأداء. وتحرّض الصيانة الوقائية إما بحلول تاريخ محدّد أو بانقضاء عدد ساعات تشغيل محدّدة. فمثلاً، قد يبدأ أوتوماتيكياً أمر عمل لتغيير زيت المحرّك كل 12 شهراً أو كل 200 ساعة تشغيل. وقد تقوم خدمة مطلوبة بالبدء أوتوماتيكياً بأمر عمل اعتماداً على المعلومات المجمّعة من قبل عاملي التشغيل أو من تتبع الشكاوي. قد تُدخل يدوياً أوامر عمل ويتم تتبعها من قبل النظام. وقد تُستخدم أنظمة إدارة الصيانة لتتبع قائمة الجرد، وضبط حمولة العمل، واتخاذ قرارات حول استبدال المعدّات وذلك عبر مراقبة الكلفة المتراكمة للصيانة.

تساعد أنظمة التحكم الرقابي والحصول على البيانات، عاملي التشغيل بأدوات المراقبة والتحكُّم. ويمكن للعامل من خلال حاسوب مركزي للنظام مراقبة أيّ أداة من الأدوات قيد التشغيل، وزمن التشغيل الإجمالي، ومناسيب السوائل، والضغط، والحرارة، والتفاصيل الأخرى. تُسجّل وتعدّ تقارير بالإنذارات الدّالة على أعطال

الأجهزة، وظروف التشغيل الواقعة دون القيم المتوخى بلوغها أو قيم أعلى منها. تسمح المعلومات للعاملين بتحديد المشاكل التي تتطلّب حذراً وتنبهاً وصيانةً. كما تسمح المعلومات أيضاً للعاملين بمراقبة تغيرات الأداء عبر الزمن من خلال التغيّرات اليومية، والعواصف والأحداث الطارئة، واتجاهات التغيُّر طويل الأمد بين فصول السنة وبين سنة وأخرى.

تساعد أنظمة إدارة الوثائق الإلكترونية في الإدارة، والتشغيل والصيانة كما تساعد المهندسين والمُستخدمين الآخرين في استرجاع المعلومات المحفوظة في المرفق. يمكن حفظ كتيبات التشغيل والصيانة، ووثائق الإنشاء، والمتطلبات التنظيمية، وسجلات المرفق بشكل إلكتروني يمكن الوصول إليها من خلال الشبكة الداخلية. فمثلاً يعتمد برنامج MOM على أهداف محدّدة، وتقييم دوريٍّ كتابيٍّ. كما يجب أن تكون التسجيلات متاحةً للعاملين وممكن الوصول إليها، للتفتيش وتدقيق الحسابات.

4-12 تشغيل وصيانة أنظمة مياه الصرف

العاملون في محطة معالجة مياه صرف وعمال المجارير مجازون ومرخص لهم من قبل الولاية. يتضمن تشغيل محطات معالجة مياه الصرف وضع عمليات الوحدة ومعداتها في الخدمة أو سحبها منها، وضبط التغذية الكيميائية، وتحديد قيم نقاط تشغيل محدّدة، والتحكُّم بعملية المعالجة لتشكيل تدفق خارج يفي بمتطلبات ترخيص NPDES أو يفوقها. يتضمن تشغيل أنظمة المجارير محطات ضخ، والتحكُّم بالمعالجة المسبقة، ومراقبة الانسياب لتفادي فيضان انسياب المجاري. تتضمن كافة العمليات توثيقاً، وتفتيشاً خلال دورة التشغيل المنتظمة، وتعمل معظم محطات معالجة مياه الصرف على مدار 24 ساعة في اليوم ولمدة 265 يوماً في السنة. تساعد أنظمة التحكم الرقابي والحصول على معلومات، العمال من خلال مراقبتهم للمعدات وتقديم تقارير عن الإنذارات التي حدثت في موقع وحيد. وقد

يتضمن نظام المراقبة جهاز اتصال أوتوماتيكي لإنذار العاملين صوتياً عند خلو المنشأة من العمال. يتباين عاملو الصيانة في محطات معالجة مياه الصرف بتباين نمط معدّات المحطة، ولكنها عموماً تضم عمال صيانةٍ عامة، وميكانيكيين، وكهربائيين، وعمالاً عاديين. قد يقوم عمال التشغيل أو الصيانة بتشحيم المعدات، وتنظيف المرشّحات، وإنجاز مهام روتينية. وعاملو الصيانة مسؤولون عن الصيانة، والتركيب، والتفتيش، وحل المشاكل، والتحكّم والإشراف على مجموعة متنوِّعة من المعدات التي قد تشمل المضخات، والبوابات، والضاغطات، والناقلات، والمحركات والمعدات الدوّارة. تتضمن الصيانة الكهربائية، وعزل الطاقة، وحل المشاكل، وفحوصات منطقية ووظيفية، وإصلاحات وصيانة معدات تشابهية ورقمية، وتجديد الطاقة.

5-12 صيانة المجارير وتنظيفها

يمكن أن تنشأ مشاكل مجارير جدية ومكلفة بسبب تصميم غير مناسب أو إنشاءٍ سيئ. إن توفير انحدارات مناسبة للمحافظة على سرعات تنظيف ذاتي أمر أساسيّ لجعل الصيانة في أدنى الحدود. كما إن اختيار وصلات أنابيب مناسبة أمر حيوي لمنع اختراق الجذور والارتشاح المفرط. يمكن لقطع جذور الأشجار من خطوط المجارير أن يكون عملية تنظيف متكرِّرة مكلفة. تحمل المياه الجوفية الداخلة إلى الوصلات معها تربةً من التربة المحيطة بالأنبوب، والتي تتسبب على المدى البعيد بانهيار بنيويٍّ. وإضافة إلى استعراض التصاميم الجديدة والإشراف على الإنشاء، يجب أن تتطلّب التراخيص على البناء تفتيشاً دقيقاً لكل وصلات الخدمة قبل إعادة الردم. ومن الهام التأكد من أن خطوط الخدمة غير المُستخدمة مُغطّاة بشكل سليم عند هدم أبنية المنشأة.

يشتغل نظام صيانة ناجح على إدارة الصيانة أو على نظام معلومات تخطيطيٍّ ويتطلب المحافظة على تسجيلات فعَّالة. تُستخدم الخرائط لإظهار مواقع الفتحات،

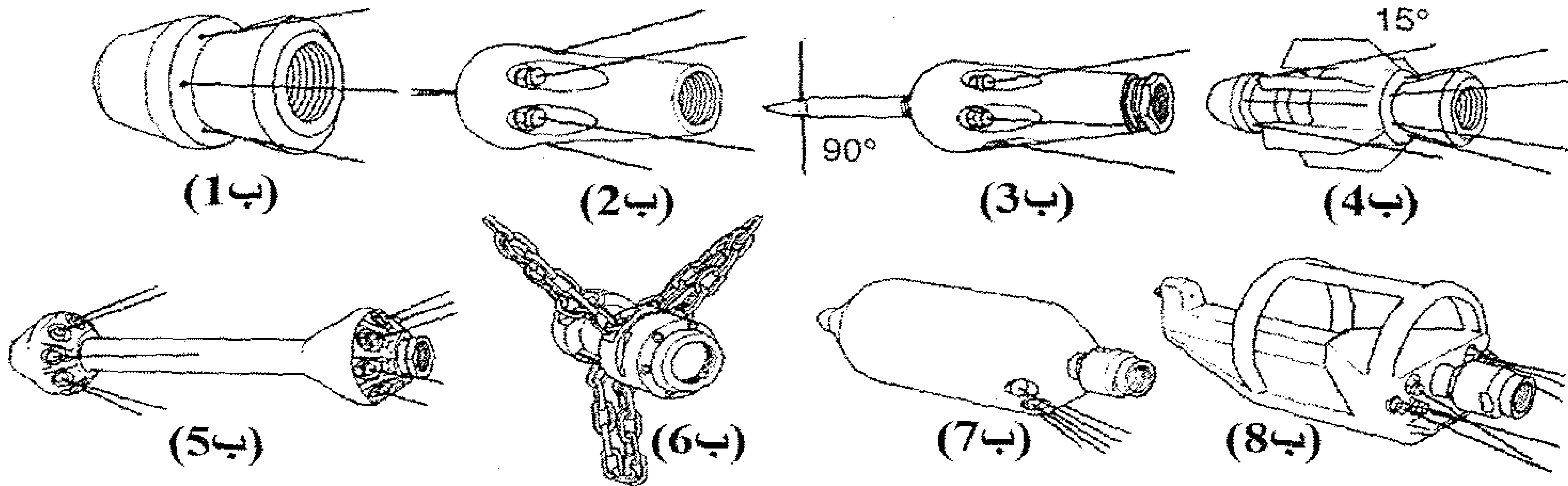
ومداخل الشطف، ووصلات الخدمة وأيّ ملحقات أخرى، يجب حفظ تسجيلات للصيانة التي تم إنجازها مع تأكيد خاصٍ على الخطوط المثيرة للمتاعب والمعروفة بتطلُّبها تفتيشاً أو تنظيفاً أكثر تواتراً. وبالرغم من أن المجارير الأكبر الممدودة على منحدرات مناسبة قد لا تتطلّب مطلقاً شطفاً أو تنظيفاً، بينما يجب أن يُدرج بعض آخر في جدول لتنظيف منتظم يتراوح من مرة في الشهر إلى مرة في السنة. يمكن تخفيف عدد حالات انسداد المجارير الطارئة بشكل ملموس عبر مثل هذه الإجراءات الوقائية.

تحدث انسدادات المجارير بصورة رئيسة بسبب الرمل والمواد الشحمية، والعصي والحجارة وجذور الأشجار. وفيضان انسياب نظام المجارير كذاك الموضّح في الشكل (12-6أ)، هو نتاج زيادة تحميل الأنابيب أو الانسداد الناتج من شقوق الأنابيب الأمر الذي يفضي إلى حدوث تكهفات، واحتجاز الشحوم، وتشكّل سدادات من الجذور (أمثلة كل منها موضحة في الأشكال من 12-6 ب إلى 12-6 د). وتقنيات التنظيف الشائعة المتبعة هي الفرك الهيدروليكي بتيار نفّاث عالي الضغط، والتجريف بواسطة معدات ميكانيكية، وإضافة المواد الكيميائية. وعندما يُبلّغ عن خط مجرورٍ مسدودٍ، يتم تفتيش الفتحات لتحديد الموقع. وفي حالات استثنائية قليلة، يتم تنظيف أنبوب المجرور عادةً باتجاه أعلى المنحدر، وذلك بالعمل في أول فتحةٍ جافةٍ باتجاه أسفل المنحدر تلي منطقة الانسداد. ويسمح هذا الإجراء بالعمل في فتحةٍ نظيفةٍ، وسيساعد انسياب مياه الصرف من أعلى المنحدر في تجريف خط المجرور بعد إزالة السدادة. كما يتم تنظيف المجارير باستخدام تيّار مائي نفّاث عالي الضغط كما هو باد في الشكل 12-7.

تتوقف الشاحنة بحيث تكون بكَرة الخرطوم فوق فوهة الفتحة التي تقع أسفل المنحدر. وبعد وضع العجلة مع بكرات ضمن الفتحة كموجِّه للخرطوم، يُدخل الخرطوم مع بزباز عالي الضغط على الطرف الآخر في الفتحة ومن ثم في المجرور.



(أ)

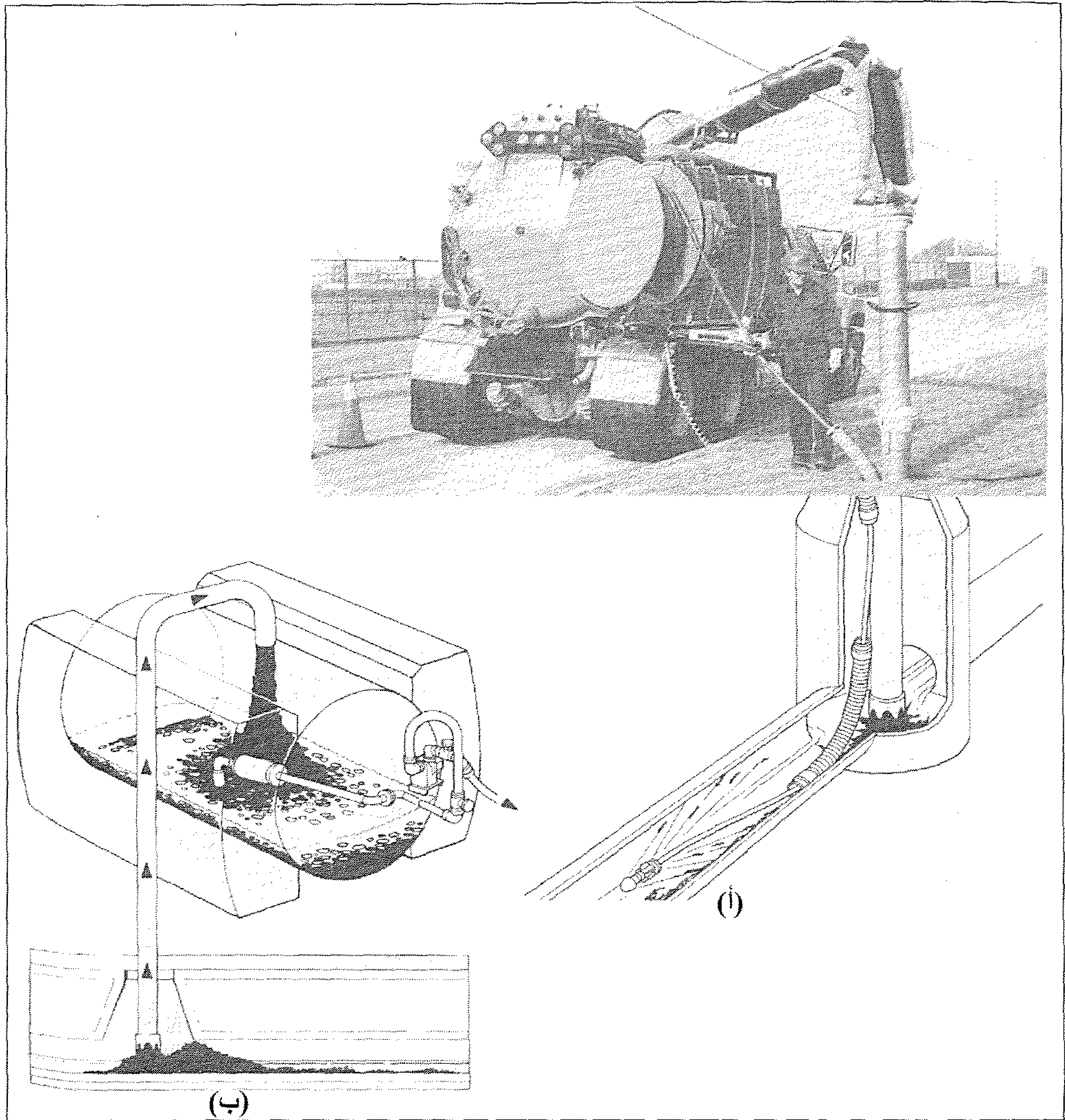


شكل 12-7: تنظيف المجرور باستخدام تيار مائي نفّاث عالي الضغط. (أ) رسم تخطيطي للنظام. (ب 1) رسوم لبزابيز الخرطوم المتوفرة لتطبيقات تنظيف مختلفة. كما هو باد في الشكل 12-7. تتوقف الشاحنة بحيث تكون بكرة الخرطوم فوق الفتحة. (ب 2) بزابيز دفعية خفيفة الوزن، تتحرك إلى الأمام وتستخدم لتشق طريقاً لأسلاك الكاميرا ولاختراق السدادة. (ب 3) بزابيز بحربة تُستخدم لاختراق الشحوم والسدادات الكاملة. (ب 4) بزابيز صاروخية ذات فتحات دفع خلفية وجانبية لزيادة الدفع بهدف اختراق سدادت صعبة. (ب 5) بزابيز تيار شعاعي مزدوج تسمح بنفاثات في المقدمة بتفكيك الحطام بينما يقوم نفّاث ثاني بجرفه إلى الفتحة. (ب 6) قطّاعة جذور دورانية مع أداة لإزالة الإسمنت تُستخدم سلاسل فولاذيّة تُدار بضغط عالٍ لإزالة الجذور والتوضعات القاسية. (ب 7) بزابيز طوربيدية تُستخدم لتنظيف قيعان المجارير ذات الأقطار الكبيرة. تسمح جدرانها الملساء المقسّاة بالانزلاق على الرمل والحطام. (ب 8) بزابيز شعاعية ذات ضربة تيار حادة تمت هندستها كي تتحرك بشكل مستو على قاع الأنبوب وتتضمن ملفافاً وقضيباً متدحرجاً لتفادي الانقلاب (موافقة من Aquatech, Inc., Cleveland. OH)

يُنفث الماء المضخوخ عبر ثقوب موجودة على الجانب الخلفي للبزباز بضغط يصل إلى 2000 Psi بمعدل يصل إلى 60 gpm من خرطوم يبلغ طوله 400 ft (شكل 12-7ب). تدفع القوة الناتجة البزباز عبر المواد السادّة، إذ إن نفّاث الماء يفتّت المواد الصلبة. وبسحب البزباز ببطء، يكتمل تنظيف الأنبوب عبر غسل المواد المُزاحة وإعادتها إلى الفتحة. يمكن وضع سدادة في الفتحة لحجز المواد الصلبة وإزالتها يدوياً بحيث يمكن أن تنقل في أنبوب المجارير باتجاه أسفل المنحدر.

تتوفر بزابيز متعدّدة للخراطيم، موضحة في الشكل (12-7ب)، لاستعمالات خاصة في تنظيف المجارير باستخدام نفّاث عالي الضغط. إذ تُستخدم البزابيز الشعاعية (ب1، ب5) في التنظيف العام، (ب3) بزابيز بحربة و(ب4) بزابيز صاروخية تستعمل لاختراق سدّادات المجارير النظيفة. بزابيز ذات سلاسل فولاذية تُدار بواسطة ضغط عال. (ب6) بزابيز تُستخدم لإزالة الجذور ورسوبات قاسية لها مظهر يد هاون تخترق الأنبوب في مناطق وصلات لُحِمَت بالملاط على نحو سيئ. أما في المجارير ذات الأقطار الكبيرة فقد تم تصميم البزابيز بحيث تسير نحو الخلف لإزالة الرمل والحطام من قاع الأنبوب (ب7، ب8).

تنظف نفثاً، آلية تنظيف المجرور المبينة في (الشكل 12-8أ) المجرور مستخدمة مياهاً معادة التدوير ومخلية هواء لسحب الأوساخ والمترسبات الصلبة. يتمّ وضع الخرطوم ذي بزباز عالي الضغط في أنبوب المجارير المسدود، ويُدلّى أنبوب مخلية الهواء نحو الأسفل ضمن فتحة دخول (manhole). ومع انسياب الماء من المنظِّف النفّاث إلى داخل الفتحة، تُسحَب مياه الصرف والأوساخ والمترسبات الصلبة خارجاً إلى خزان أسطواني يتسع لــ 850 gal موجود على الشاحنة (شكل 12-8 ب).



شكل 12-8: تنظيف مجرور باستخدام نفث مياه عالي الضغط وتفريغ الهواء لإزالة الحطام. (أ) يقوم البزباز بتجريف المواد الصلبة وإعادتها إلى الحفرة بوجود سد مؤقّت حيث تُزال المواد الصلبة المتجمّعة والمنفصلة من مياه الصرف بأنبوب طرح هواء. (ب) الشاحنة لها خزانان، يحفظ الخزان الأول المواد الصلبة المتجمّعة والمنفصلة من مياه الصرف بواسطة جهاز فصل سايكلوتروني. يحتفظ الخزان الثاني بمياه صرف مصفاة لتنظيف مستمر باستخدام نفّاث عالي الضغط (موافقة من: (Aquatech. Inc., Cleveland, OH

ينقل الماء إلى خزان ثان سعته 1000 gal بواسطة فاصل مسرّع سايكلوتروني وذلك لتصفية مياه الصرف عبر إعادة المواد الصلبة إلى خزان الحطام. ومن هذا الخزان، يتم تدوير الماء عبر بزباز تنظيف عالي الضغط. ويمكن لخزان الحطام

الأسطواني أن يُفرّغ من خلال فتحٍ هيدروليكيٍّ لباب بمصراع، وإمالة الخزان لتصريف مياه الصرف والمواد الصلبة المتراكمة إلى الخارج.

إن جذوع الأشجار مزعجة للغاية في بعض أنظمة المجارير. ويمكن إزالة الجذور الناعمة بواسطة نفثٍ عالي الضغط، وإزالة الجذور الثخينة باستخدام بزباز قاطعٍ للجذور. يمكن للمعالجة بالمواد الكيميائية أن تكون فعّالةً في إزالة الجذور والتحكُّم بتكرّر دخول الجذور. وبعد السماح للمواد الكيميائية بقتل وحلّ الجذور جزئياً، يُفرّغ الأنبوب منها بتنظيف هيدروليكي.

المراجع

1. *Management, Operations, and Maintenance Program.* U.S. Environmental Protection Agency, Region 4. <http://www.epa.gov/region4/water/wpeb/momproject/ index.html.>
2. *Wastewater Collection Systems Management, MOP7.* Alexandria, VA: Water Environment Federation, 1999. <http://www.wef.org/Home>.

مسائل

1-12 صف الغرض من برنامج الــ MOM لفائض انسياب الصرف الصحي.

2-12 كيف يمكن تحديد استطاعة محطة معالجة وما هي المعلومات المطلوبة؟

3-12 تتوفر المعلومات الآتية حول وحدة معالجة بترسيب أولي.

	V (mgd)	*S* (mg/l)	M (.8.34 = lb)
تدفّق داخل سائل	1.2 mgd	220 mg/l	
مياه مفصولة		121 mg/l	
حمأة متخّنة			1010 lb/day

أكمِل الجدول، وقدِّر جزء المواد الصلبة التي يتمّ إزالتها باستخدام المعادلة 12-4.

4-12 تتوفر المعلومات الآتية حول وحدة معالجة بمثخّن حزام جاذبي. بكفاءة إمساك قدرها 90%.

	V (mgd)	S (mg/l)	M (.8.34 = lb)
تدفّق داخل سائل	500 gpm	250 mg/l	
حمأة متخّنة		4000 mg/l	
انسياب معاد التدوير			

أكمل الجدول، وقدِّر جزء المواد الصلبة الذي يتم إزالته باستخدام المعادلة 12-4.

5-12 يفيض أنبوب مجارير على الشارع في أثناء العواصف. كيف يمكن تقدير استطاعة نظام مجارير صحي؟ وكيف يُتخذ القرار بإصلاح البنية التحتية للمجرور، وما هي الأنماط الرئيسة للإصلاح؟

6-12 تشير مراقبة الانسياب في مجارير إلى اتصال مباشر بين الجريان السطحي لمياه الأمطار وانسياب المجارير. ما هي الطريقة التي يجب استخدامها للتقدير؟ وما الاحتياطات التي يتوجَّب الأخذ بها؟

7-12 ما هي النفايات المحرَّمة بحزم وصرامة في مياه الصرف الصحي؟ ولماذا؟

8-12 ما هي الاعتبارات التي تؤخذ بالحسبان في وضع معدَّلات المجارير؟

9-12 ما هي الأمور الضرورية للمحافظة على استطاعة المجرور؟ وما هي الأسباب الشائعة لانخفاض استطاعة المجرور؟

10-12 ينتج تصريف صناعي 1200 gpd بمحتوى 4200 mg/l BOD و 800 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة، وتبلغ رسوم المجارير 0.35 $ للغالون، و120 $ لكل باوند BOD، و180 $ لكل باوند من SS. احسب رسم الارتفاق الشهري. هل التصريف مقبول؟

الفصل 13

معالجة متقدمة لمياه الصرف

تُعنَى المعالجة المتقدمة لمياه الصرف بالطرائق والعمليات التي تزيل ملوّثات من مياه الصرف أكثر مما تزيلها المعالجة الحيوية التقليدية. وقد يُستخدم هذا المصطلح لأي نظام يتبع المعالجة الثانوية أو يتضمن الإزالة أو النترتة في معالجة ثانوية تقليدية. وغالباً ما يستخدم مصطلح "معالجة ثالثية" كمرادف له، رغم أنه ليس للمصطلحين المعنى الدقيق نفسه. فالثالثية تدل على مرحلة ثالثة تجري عملياتها بعد عمليات أولية وثانوية. يتكوّن استصلاح الماء من مجموعة معالجات تقليدية ومتقدمة تُوظَّف لاختزال مياه الصرف إلى نوعيتها الأصلية تقريباً، وبالتالي استصلاح الماء.

تُزيل عمليات معالجة مياه الصرف الفوسفور من المحلول، وتؤكسد الأمونيا إلى نترات (النترتة)، وتُحوّل النترات إلى نتروجين (إزالة النترتة)، وتُزال أو تعطّل البكتيريا والفيروسات المرضية (التعقيم). وفي استصلاح الماء، قد تُوسّع الأهداف كي تتضمن إزالة المعادن الثقيلة، والمواد الكيميائية العضوية، والأملاح اللاعضوية، وإزالة كافة المُمرضات.

13-1 محدودية المعالجة التقليدية

ينتج تلوث مياه الصرف المدنية من البراز البشري، ومن مياه صرف عمليات تحضير الأغذية، ومن مجموعة متنوّعة من مياه الصرف الصناعية العضوية واللاعضوية. وتتضمن المعالجة التقليدية لمياه الصرف مجموعةً من العمليات الفيزيائية والحيوية لإزالة المادة العضوية. وللوصول إلى معالجة مقبولة، يجب

إزالة ما نسبته 85% تقريباً من الــ BOD والمواد الصلبة المعلَّقة، لتنتج تدفقاً خارجاً يحوي 30 mg/l من الــ BOD، و30 mg/l من المواد الصلبة المعلَّقة، أو قيماً أقل منها. تستخدم بعض محطات المعالجة عملية تعقيم لخفض أعداد البكتيريا والفيروسات القابلة للحياة في التدفق الخارج لمياه الصرف. تنتج المعالجة التقليدية لمياه الصرف عادةً تخفيفاً للأمونيا والفوسفور يمكن إهماله، وتعقيماً غير مكتمل، وإزالةً للمواد السامة الموجودة في مياه الصرف الخام بدرجات مختلفة، ومن دون أيّ إزالة للمواد الكيميائية المُذابة غير القابلة للتفكك حيوياً. ففي المناطق المتمدنة جداً والحساسة بيئياً، لا تحمي معايير التصريف البالغة 30/30 البيئة بشكل مناسب. وقد يتطلَّب الأمر وضع قيود أكثر تشدداً على الــ BOD والمواد الصلبة المعلّقة اعتماداً على الاستطاعة الفعلية للمياه المتلقِّية كي تكتمل عملية المعالجة. إضافة إلى ذلك فإن المغذيات، والعضويات والفيروسات الممرضة والمعادن المُذابة، تبقى نسبياً غير معالجة في عمليات المعالجة الثانوية، لقد طُلب من الولايات تحديد الجداول، والأنهار والبحيرات الحسّاسة بيئياً، للقيام بدراسة تفصيلية للحدود القصوى للملوّثات، والتي خُصِّصت في ما بعد للتصاريف في تلك المنطقة. ونظراً إلى كون تراخيص (NPDES) قد تم تجديدها، فإن الحمولات القصوى اليومية (TMDL) قد وضعت لكل ملوّث بالباوندات، أو بالتركيز، أو بكليهما.

إن التأثير الملوِّث للفوسفور في المياه السطحية هو توفير تغذية جيدة. ونتيجة إلى كون الفوسفور في المياه الطبيعية هو المغذّي النباتي المحدّد للنمو في المياه الطبيعية، فإن تصريف مياه صرف غنيةٍ بالفوسفات المُذابة يمكن أن يُسرِّع التسميد. ونتيجة ذلك هو النمو المفرط للطحالب، ما يسبِّب محدوديّة شفافية الماء، واستنزاف الأكسجين المُذاب في الماء، وانبثاق روائح كريهة، واختفاء أنواع الأسماك الصغيرة، ونمو كثيف للأعشاب البحرية الضارّة في الخلجان الضحلة. لا تتوفر في المياه الجارية العكرة التي تحجب ضوء الشمس الضروري للتركيب الضوئي تغذيةً جيدة، لكن مصبات الأنهار والأنهار الجارية ذات الماء الصافية يمكن أن تتأثر

بشكل عكسي بالطريقة نفسها التي تتأثر بها المياه المحتبسة. والأمونيا غير المؤينة مادة سامّة للأسماك وللحيوانات المائية الأخرى. وتعتمد كمية الأمونيا غيرالمؤينة على pH الماء، حيث إن الأمونيا تتحوّل إلى أمونيوم غير سام مع تناقص pH، تبلغ قرينة الأمونيا غير المؤينة بالنسبة إلى سمك السالمون 0.02 mg/l، وإلى أنواع أسماك أخرى تتحمل الأمونياmg/l. 0.08 وهذه القيم مكافئة لتراكيز نتروجين الأمونيا الإجمالي والبالغ 0.5 mg/l، و5.0 mg/l لدى قيمة pH تبلغ 8 على التوالي. وبنتيجة النترتة، يمكن للأمونيا أن تتسبّب أيضاً بامتصاص الأكسجين في المياه الجارية والمياه المحتجزة. ونظرياً، يمكن لـــ 1.0 mg من نتروجين الأمونيا أن يتطلب احتياجاً للأكسجين قدره 4.6 mg عندما يتحوّل إلى نتروجين نترات. قلّما تحدث نترتة الأمونيا في طرح مياه الصرف، بمقدار حدوثها نفسه في المياه الطبيعية نظراً إلى التفاعلات التنافسية مثل التركيب الضوئي الطحلبي، وللظروف البيئية التي تعاكس عمل البكتيريا المنترتة. وفي المياه ضعيفة التغذية، يمكن لمساهمة النتروجين في مياه الصرف أن تزيد من معدل الأترفة.

إن حماية الصحة العامة هي الاهتمام الرئيس المتعلق بالمُمرضات في مياه الصرف المطروحة في المياه السطحية التي تُستخدم في الاستجمام المتضمِّن تماساً جسدياً، وكذلك في التجهيز بمياه الشرب. تزيل المعالجة الحيوية التقليدية بين 99 و99.9% من العضويات المجهرية المُمرضة في مياه الصرف الخام. إضافة إلى ذلك، يمكن لكلورة التدفق الخارج إفناء 99.99% إضافية أو أكثر من البكتيريا وعدد مجهول من الفيروسات والابتدائيات. إن كييسات الابتدائيات وبيوض الديدان الطفيلية مقاومة للكلور المُتَّحد المتبقي المتشكِّل في مياه الصرف. وبالرغم من أن اعتبار بعض مياه الصرف المعالجة مقبولة للطرح، إذا انخفض عدد القولونيات البرازية إلى 200 في كل 100 ml، لكن ينبغي عدم اعتبار التدفق الخارج خالياً من المُمرضات، والفيروسات والبكتيريا. والمُمرضات المقاومة. يمكن للفيروسات والبكتيريا أن تتخفى وتتّقي تأثير الكلور في المواد الصلبة المعلّقة. ونظراً إلى أن

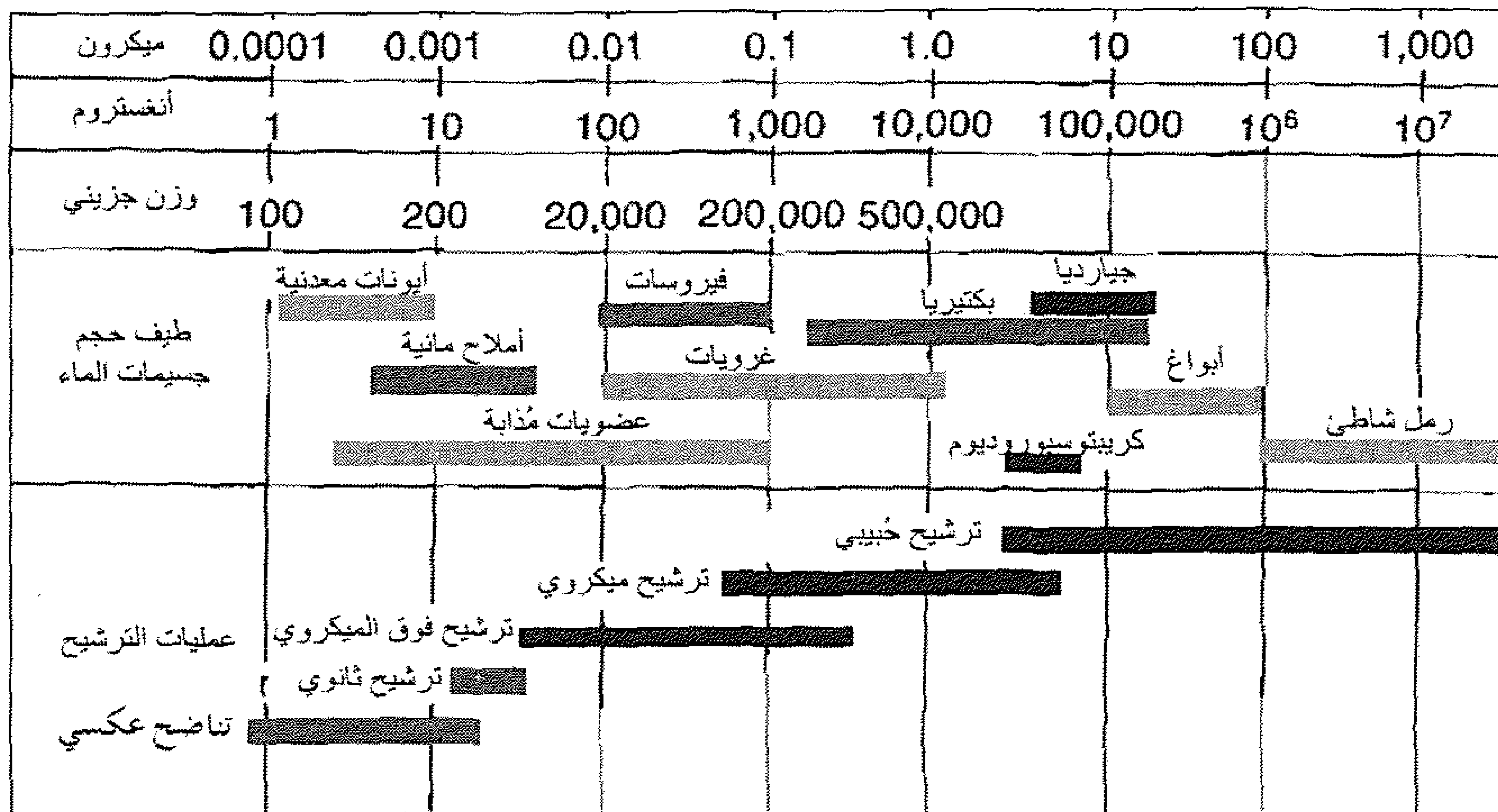
متبقي الكلور سامٌ للحياة المائية، يمكن أن تُستخدم إزالة الكلورة عبر إضافة ثاني أكسيد الكبريت، لإتلاف فائض الكلور.

إن إزالة المواد الكيميائية العضوية واللاعضوية بالمعالجة الحيوية صعبة. إذ يتسبب بعضها بمشاكل جمالية كالزبد واللون، ويتسبب بعض آخر بالأضرار بالحياة المائية، ما يمنع الاستخدام الآمن للمياه المتلقية إن بلغت تراكيزه حداً كافياً يمكنه القيام بذلك. ويُفضَّل إزالة المواد الكيميائية في نقاط مصدرها، وذلك بتثبيت برنامج معالجة صناعية مسبقة. تُستخدم المقاربة التقليدية للكشف تحاليل كيميائية متعدِّدة لتحديد وجود مركبات محدَّدة. ونتيجة توسع قائمة المواد السامة المحتملة، تزداد صعوبة اختبار مركبات محدّدة، لقد تطورت المراقبة الحيوية بهدف تخفيف تكاليف مراقبة واسعة الطيف لسمِّية التدفق الخارج.

2-13 إزالة المواد الصلبة المعلّقة

إن عدم قدرة الترسيب الثقالي في المروّقات الثانوية على إزالة الدقائق والجسيمات الصغيرة (Particles)، هي القيد الرئيس للمعالجة التقليدية لمياه الصرف بغرض إزالة المواد الصلبة المعلّقة والـــ BOD المرافقة لها، والفوسفور، إضافة إلى طيف من المواد يتراوح من البكتيريا إلى الفيروسات إلى المواد العضوية المُذابة وصولاً إلى الأملاح المُذابة. يظهر الشكل 13-1 طيف أحجام الحبَّات والترشيح المناسب لها، وعمليات الإزالة الغشائية المطلوبة، لإزالة المواد المذكورة. يمكن استخدام الترشيح الحُبيبي الثالثي لإزالة المادة الصلبة الكبيرة نسبياً ولرفع نوعية التدفق الخارج. والمرشحات المُستخدمة مشابهة لتلك المُستخدمة في معالجة الماء (فقرة 7-7). يزيل الترشيح الغشائي الجزيئيات بواسطة الإجهاد الفيزيائي، وبالاعتماد على مساميّة الأوساط، يكون قادراً على إزالة البكتيريا، والفيروسات، والمواد الصلبة المُذابة. إن الاحتياجات المتزايدة لإعادة استخدام المياه واستصلاحها قد زادت من استخدام المعالجة الغشائية لإزالة المواد الصلبة، والبكتيريا، وكمعالجة سابقة للتناضح

العكسي. يمكن للترشيح المجهري أن يزيل الجياريديا وكييسات الكريبتوسبوروديوم. كما يمكن للتناضح العكسي أن يزيل الفيروسات ويخفِّف المواد الصلبة.



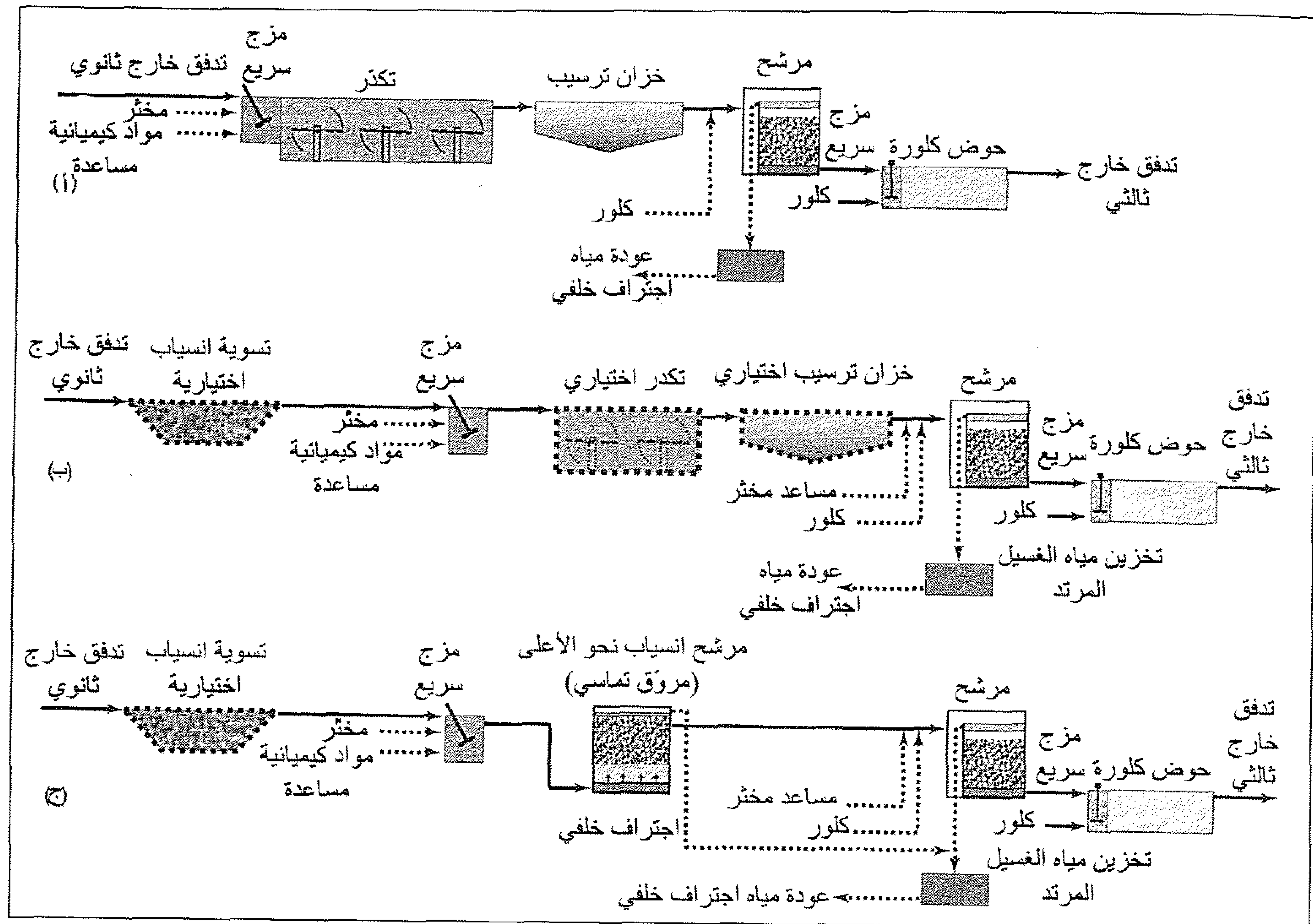
شكل 13-1: طيف حجم المواد الصلبة في مياه الصرف وإزالتها بعمليات الترشيح

مرشحات أوساط حُبيبية

يجب أن تأخذ تصاميم أنظمة الترشيح الثقالي بالاعتبار المحتوى العالي للمواد الصلبة المعلّقة، ومعدّلات تأرجح انسياب مياه الصرف، وهما غير شائعين في معالجة الماء. والمرشّحات المفضّلة هي أوساط مزدوجة فحم - رمل أو أوساط مختلطة تحوي فحم الأنتراسيت والغارنت والرمل. لا يستطيع وسط واحد بمفرده أن يستوعب كامل كمية المواد الصلبة الخشنة الموجودة في مياه الصرف بسبب انسداد سطح الوسط. تسمح الطبقات متعدّدة الأوساط بترشيح في العمق وبسعة أكبر لإمساك المواد الصلبة. ما يتسبَّب بإطالة عمر أداء المرشّح. يتطلب الغسيل المرتد الكفؤ تجريفاً مساعداً نظراً إلى كون التوقف الهيدروليكي المؤقّت للأوساط، نتيجة الانسياب نحو الأعلى عبر الطبقة، لا يوفر تنظيفاً مناسباً. في حين يحسِّن الفرك بالهواء أو المحراك الدوراني، فعل الفرك التنظيفي. قد تكون المرشحات وحدات جاذبية أو ضاغطة، تبعاً لحجم محطة المعالجة. تمنع الكلورة التي تسبق الترشيح النمو ضمن المرشح. تتراوح مخططات الانسياب للترشيح الثالثي الموضّح في الشكل 13-2 من ترشيح تقليديٍّ مع

تكدّر كيميائيٍّ، وتخثر، وترسيب وصولاً إلى ترشيح مباشر واستخدام الترشيح الصاعد إلى الأعلى. يتم التزويد بخليتَي مرشح، وعادةً بأربع خلايا مرشح، لزيادة مرونة التشغيل، ولاستيعاب تغيرات الانسياب اليومية. يجب أن تكون مساحة المرشح الكلية كافية للسماح بانسياب ذروة، مع وجود وحدة خارج الخدمة للغسيل المرتد أو للإصلاح. وعندما يُنظَّف مرشّح، يُجمع ماء الغسيل المرتد الوسخ المندفع في خزان تسوية ويُعاد إلى التدفق الداخل إلى المحطة بمعدل ثابت للمعالجة. يمكن للترشيح الثالثي أن يقلِّل المواد الصلبة المعلّقة إلى 4 mg/l أو أقل، غير أن الجزيئيات الصغيرة بما فيها العضويات المجهرية تمرُّ عبر الأوساط الحُبيبية. إن الترشيح المباشر مع تكدّر كيميائي وتخثر – ترسيبٍ اختياري، هي عملية الترشيح الثالثية الشائعة (شكل 2-13ب). يُستخدم التدفق الثانوي من المعالجة الحيوية والترسيب النهائي مباشرةً في مرشّحات الأوساط الحُبيبية. تُجمَّع الشوائب، بما فيها الجزيئيات الصغيرة جداً والمُزالة من الماء، لتُحفظ في أوساط المرشح وتُزال بالغسيل المرتد. وبالرغم من ضرورة المزج السريع للشبّة أو أيّ مخثِّر آخر، فإن التكدر اللاحق يتراجع إلى ما دون 30 دقيقة أو يُلغى بالكليّة. يحدث التكدر بالتّماس لجزيئيات متخثرة كيميائياً في مياه الصرف في الأوساط الحُبيبية للمرشح. يُضاف عادةً البوليمير كمساعد تخثر قبل الترشيح مباشرة أو في خزان التكدر. وسواء أكان هذا النظام الثالثي قد حُدد حجمه ليعالج تغيرات الانسياب اليومية أو معادلتها، فإنه يتم تركيب خزان لإلغاء أو تخفيف نمط الإنسياب اليومي. إن المحافظة على معدَّل انسياب متجانس نسبياً تسمح بالتحكُّم بتغذية كيميائية محسَّنة وبوثوقية العمليات. قد يُستخدم مرشح انسياب نحو الأعلى بأوساط خشنة بدلاً من التكدر والترسيب وذلك لتقليل المساحة ولخفض كلفة وحدات المعالجة (شكل13-2ج). يؤدي مرشح الانسياب نحو الأعلى، والذي يُشار إليه أحياناً بـــ "مروّق التّماس من المواد الصلبة"، دور مكدّر مزيل للمواد الصلبة الكبيرة. تقلِّل إزالة المواد الصلبة الحمولة على مرشحات الثقالة، وتزيد من زمن أداء المرشّح، وتخفِّض تراكيز المواد الصلبة في التدفق الخارج. يُغسل مرشّح انسياب نحو الأعلى، غسيلاً مرتداً باستخدام الهواء ليميّع الطبقة ويحرِّر المواد الصلبة المعلّقة للتمكُّن من إزالتها في انسياب الغسيل المرتد. يمكن لكافة أنظمة الترشيح بإضافات كيميائية أن

تزيل كييسات الابتدائيات وبيوض الديدان الطفيلية فيزيائياً بواسطة الترشيح وتعطيل البكتيريا والفيروسات المتبقيّة في الماء المرشّح الصافي عبر تماس مديد مع الكلور.

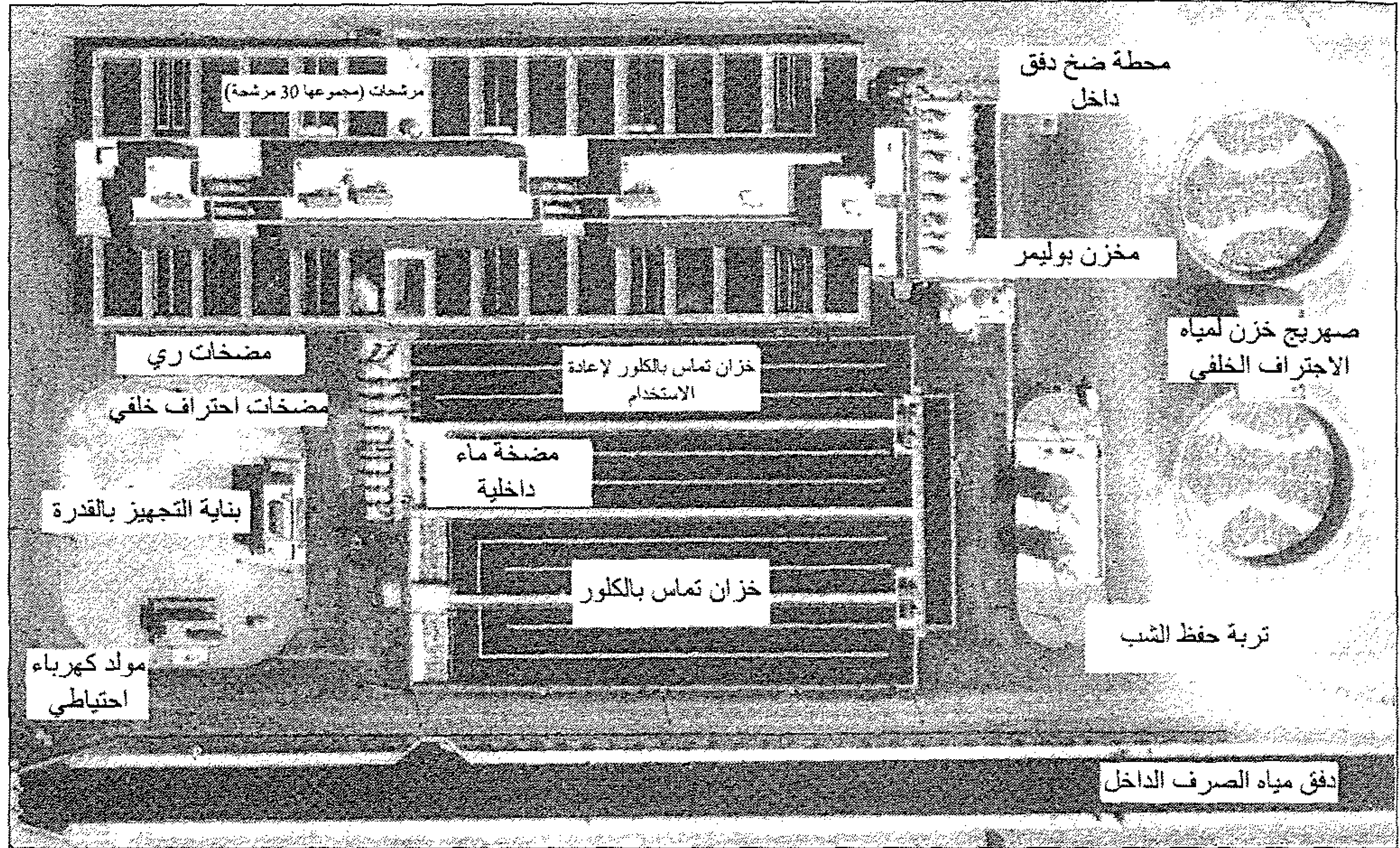


شكل 13-2: مخططات انسياب لترشيح ثالثي لمياه صرف معالجة حيوياً. (أ) ترشيح تقليدي لإزالة مواد صلبة مع مزج سريع، وتكدّر، وترسيب متبوع بكلورة (من أجل إزالة إضافية للقولونيات والفيروسات). (ب) ترشيح مباشر مع تسوية اختيارية، وتكدّر، وترسيب. يضاف الترسيب والتكدّر عند ازدياد تراكيز المواد الصلبة في التدفق الداخل. تخفف التسوية من انسيابات الذروة ومن حجم المرشح. (ج) استخدام مرشح انسياب نحو الأعلى للتكدّر ولإزالة المواد الصلبة الكبيرة. تتباين الإضافات الكيميائية مع الحاجة إلى زيادة إزالة المواد الصلبة. تخفف إضافة الكلور قبل الترشيح النمو الحيوي على المرشحات

ترتبط الحمولة الهيدروليكية بزمن الترشيح قبل طبقة تتطلب غسيلاً مرتداً. تكون معدّلات تصميم ترشيح مياه الصرف عادةً في مجال 3 إلى 5 gpm/sq ft (2.0 إلى 3.3 $l/m^2 . s$). ويعتمد التصميم الصحيح لنظام الترشيح على توفير مساحة طبقة مناسبة. وبالرغم من أن كفاءة الإزالة مستقلة نسبياً عن معدل الحمولة الهيدروليكية، إلا أن مساحةً صغيرةً من السطح تسبب تشغيل المرشح. يتسبّب فائض ماء الغسيل المرتد المعاد تدويره إلى بداية المحطة، وكذلك الماء الناتج من

تنظيف المرشح بأداء غير كفؤ. يبلغ زمن ترشيح الأدنى المفضل بين غسيلين مرتدين متتاليين تحت ظروف عادية لانسياب مياه الصرف وتركيز المواد الصلبة المعلّقة، 24 hr. تعتمد الإزالة الفعّالة للمواد الصلبة المعلّقة على تصميم الإنشاءات وخصائص مياه الصرف المستعملة. وعموماً فإن أفضل نوعية تدفق خارجي عبر ترشيح سهل تبلغ 5 إلى 10 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة، فإن رُغب بتقليل أكثر، فيجب عندها أن يسبق الترشيحَ تخثر كيميائي للسماح بتكدر المواد الصلبة الغرويّة وتخفيف المواد الصلبة المعلقة في التدفق الخارج إلى ما دون 5 mg/l. يُظهر الشكل منظراً جوياً لمجمع ترشيح مدينة لاس فيغاس، يقلّل المجمع المطابق للشكل(2-13ب)، كمية المواد الصلبة المعلّقة بمقدار 30 mg/l تقريباً لتصل إلى 3 mg/l لدى انسياب تصميم قدره 99 mgd. وبعد المعالجتين الثانوية والثالثية يتم ضخ مياه الصرف ومزجها بالشبّة والبوليمير، ثم تُكلوَر قبل الترشيح. تنساب مياه الصرف نحو الأسفل عبر المرشّحات وأحواض التّماس مع الكلور إلى تصريف المحطة. يحوي كلٌّ من المرشحات الثلاثين، والتي يبلغ طول كل منها 28 ft وعرضها 18 ft، وتحوي 24 in. من الإنتراسيت (1.0 mm) تعلو طبقة من الرمل ثخانتها 12 in. (0.45mm) مع طبقة من الحصى ثخانتها 12 in. (0.45mm) أيضاً. يبلغ انسياب التصميم 5 gpm/sq ft مع غسيل مرتدٍّ مائيٍّ وهوائيٍّ. تعمل المرشحات بمنسوب ثابت للمياه بوضعية معدّل متراجع مُتحكّم به بواسطة صمّام فراشة دوّار يعمل على الهواء قطره 30 in.، لكل مرشّح إطار غسيل مرتدٍّ مستقلٍّ، ولكن يتم التحكُّم بالسلسلة المتتالية للغسيل المرتد للمرشّحات الثلاثين بواسطة حاسوب مركزي. تُجزّأ أحواض التّماس مع الكلور إلى قنوات طويلة وضيقة عمقها 12 وعرضها 10 وطولها 500 ft. توفر ثلاثة خزّانات زمن احتفاظ قدره 20 min لدى انسياب الذروة قبل التصريف إلى مغاسل لاس فيغاس، بينما يوفر خزان آخر زمن احتفاظ قدره 90 min قبل إعادة استخدام المياه كمياه تبريد في محطة للطاقة، وفي ريّ ميدان رياضة الغولف. تؤمّن خزّانات الاحتفاظ بمياه الغسيل المرتد تخزيناً لمدة 24 hr لتأمين مخزون لانسياب الغسيل المرتد، ما يمثّل 7% من انسياب التدفّق الداخل.

تتضمن المعدّات الإضافية مضخات للغسيل المرتد، والريّ، والمياه المُستخدمة ضمن المحطة، والخدمات الكهربائية ومولداً احتياطياً للطاقة، ومخزوناً كيميائياً.



شكل 13-3 : ترتيب المعالجة للترشيح الثالثي لإزالة المواد الصلبة المعلّقة وتعقيم التدفق الخارج، مرفق الـتحكّم بتلوّث المياه لمدينة لاس فيغاس، نيفادا

تتضمن التغيّرات في الترشيح الثقالي، الضغط، والجسور المتحركة، والمرشحات ذوات الانسياب إلى الأعلى. ومرشحات الضغط أكثر ملائمة للاستخدام في محطات المعالجة الصغيرة. يتم استخدام الأوساط الحُبيبية في أوعية الضغط ما يسمح بتطبيق ضغوط أعلى وعمر أداء أطول، وبالتالي إنقاص حجم المرشح، غير أن ذلك يتطلب أدوات أكثر، وضخاً أعلى.

ويشابه تصميم الارتشاح السفلي وحجم الأوساط مثيليهما في مرشحات أوساط الثقالة. لقد سُمّيت مرشحات الجسور المتحركة كذلك بسبب حركة مضخة الغسيل المرتد وغلافها، فوق الجسر. وعمق وسط المرشح أقرب للضحالة بعمق 10 إلى 12 in.، ما يسمح بغسيل مرتدٍّ. تُقسم أوساط المرشح إلى أجزاء أفقية يمكن تغطيتها بغطاء الغسيل المرتد وذلك بمروره عبر المرشح. تُستخدم المرشّحات ذوات

الانسياب إلى الأعلى كمعالجة مسبقة لمرشحات الثقالة مع أوساط خشنة، بهدف إزالة المواد الصلبة الكبيرة والتكدّر. تتم المواءمة بين حجم التصميم وحجم المرشحات كجزء من نظام شامل يعقبه تعقيم لاحق.

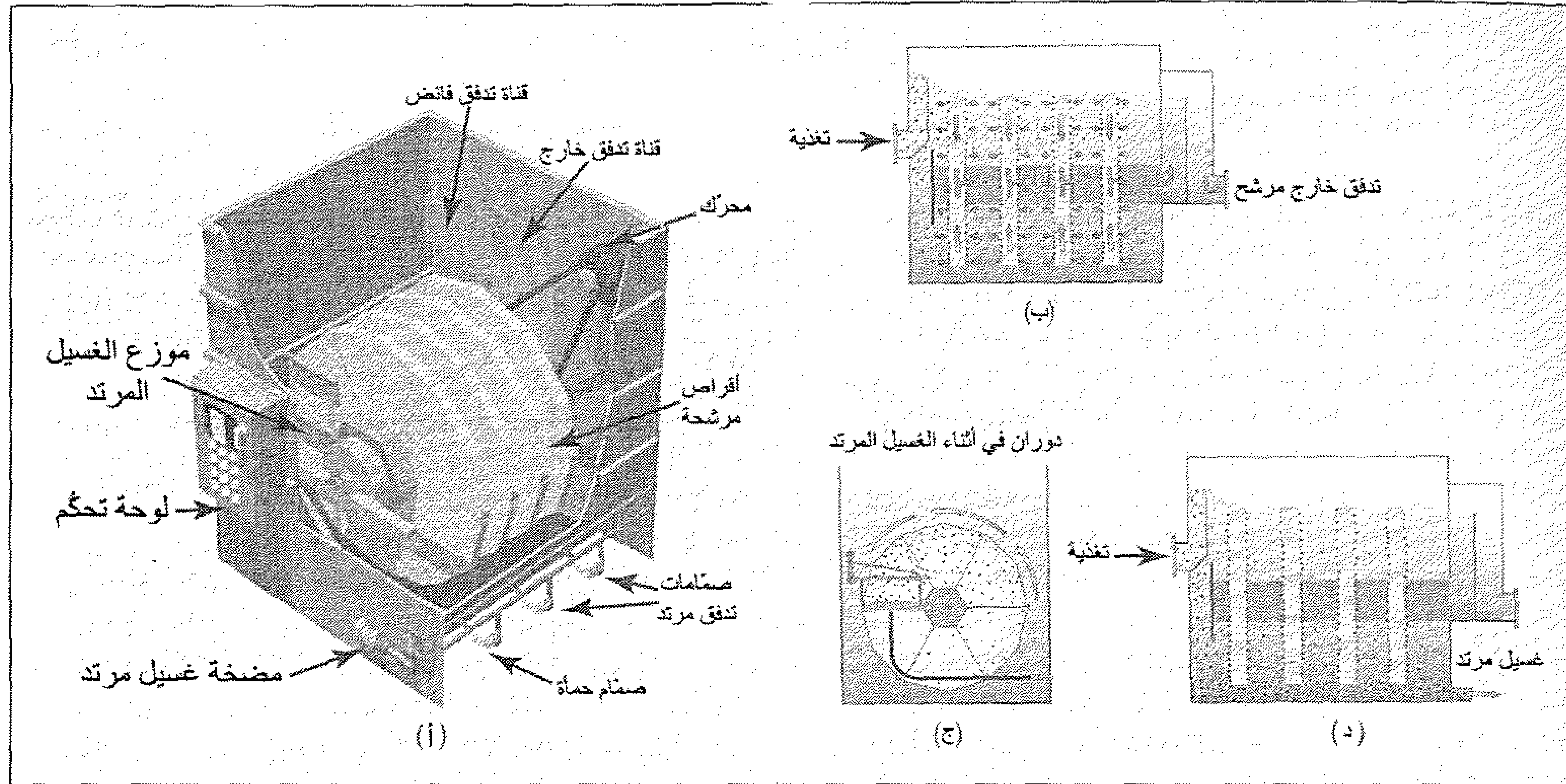
المرشحات ذوات الأوساط القماشية

تزيل المرشحات ذوات الأوساط القماشية المواد الصلبة من على سطوح النسيج عبر إجهاد فيزيائي. يُركَّب النسيج عادةً على قرص كي يسهل تنظيفه بشكل مرتدٍّ. يظهر الشكل 13-4 مقطعاً عرضياً للوحدة، في عملية تشغيل متتابعة مكوَّنة من ترشيح وغسيل مرتدٍّ. يمكن تركيب الوحدة في خزّانات من البيتون أو الزجاج الليفي أو الفولاذ. ولهذه المرشحات حجم أدنى من الانسياب للغسيل المرتد وحجم إجمالي أقل مقارنةً بمرشحات الأوساط الرملية. يظهر الشكل 13-5 العلاقة بين عكورة التدفق بين الداخل والخارج لأنماط ترشيح مختلفة. تشير البيانات إلى أن المرشحات تؤدي دورها بشكل جيد لدى حمولات منخفضة للتدفق الداخل، ولكن مع ازدياد عكورة التدفق الداخل، تبقى الأوساط القماشية محافظةً على عكورة تدفق داخل منخفضة، في حين تبدأ الجسور المتحرّكة، والطبقة العميقة، ومرشحات الأوساط الحُبيبية ذات الانسياب إلى الأعلى بتحرير تراكيز متزايدة من المواد الصلبة في التدفق الخارج من المرشح.

المرشحات الغشائية

تُستخدم المرشحات الغشائية لتقديم سويّة أعلى من المعالجة في التطبيقات الصناعية، ولإعادة استخدام مياه الصرف، واستصلاحها. تُستخدم المرشحات الغشائية بدلاً من الترسيب الثانوي، والتكدّر، وخزان الترسيب. والترشيح الحُبيبي. قد تُضاف الكلورة لإزالة الفيروسات ولحمل متبقي المعقمات في مياه التدفق الخارج. لقد أُدرجت قرائن تصميم الأغشية وتطبيقاتها في الجدول 13-1. وقد صنِّفت في فئات تبعاً لحجم المسام والتي تتراوح من الترشيح الميكروي، إلى الترشيح فوق الميكروي، فالترشيح النانوي، وصولاً للتناضح العكسي. تعتمد معالجة المرشح الغشائي على الدرجة

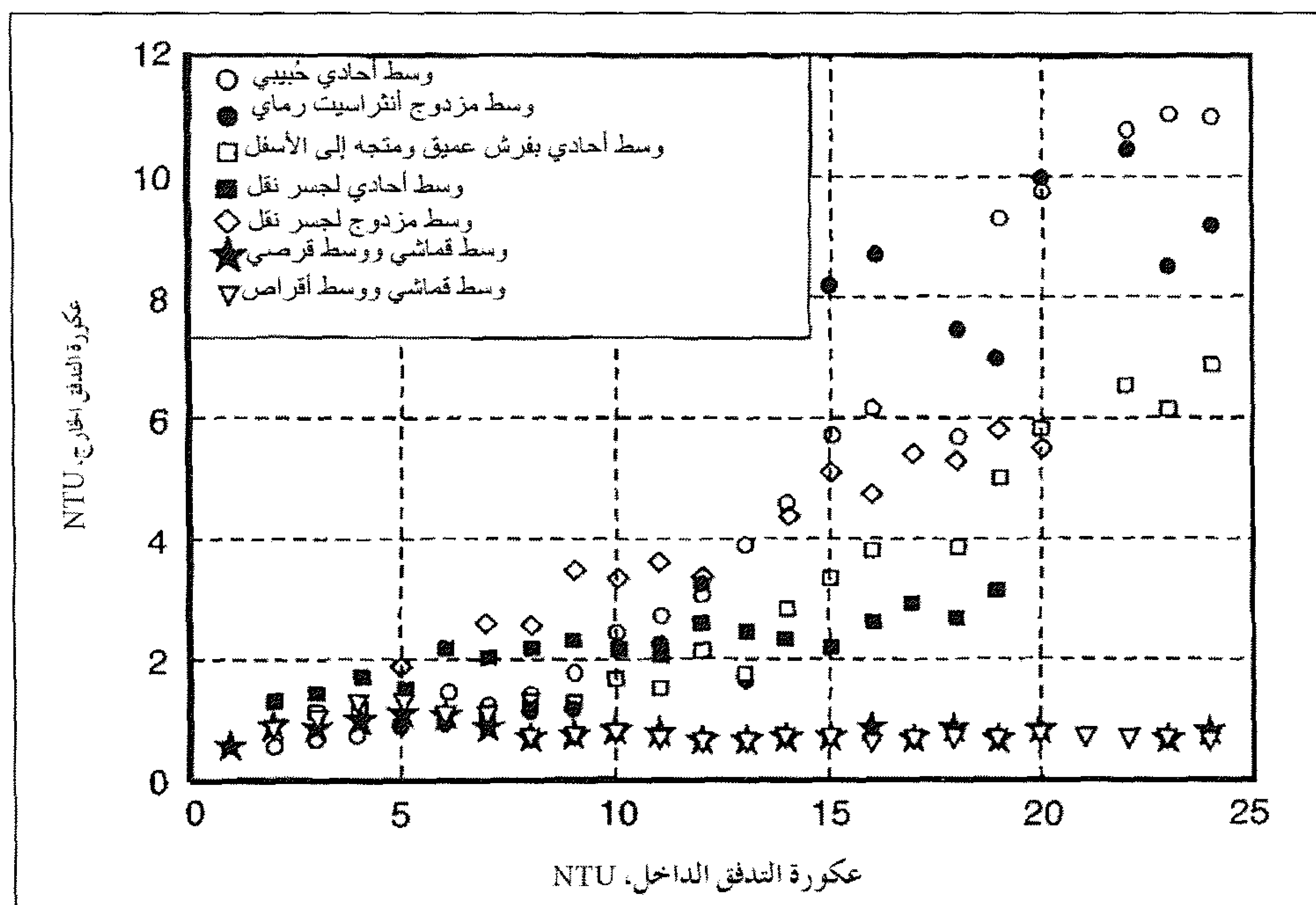
المرغوبة للمعالجة، كتخفيف العكورة، والتعقيم، وإزالة الفيروسات، وإزالة الملوحة. انظر الفقرة 7-26 حول الترشيح الميكروي في معالجة مياه الصرف.



الشكل 13-4: منظر لمقطع عرضي وتشغيل وحدة مرشح قماشي (أ) يظهر المقطع العرضي وحدات مرشح قماشي مركَّبة على عمود موجود بنية من الفولاذ تحتوي على الماء. يظهر المخطط معدات مرافقة من أجل التشغيل. (ب) مقطع يظهر المرشح وهو في وضعية الترشيح، ومياه الصرف وهي تنساب إلى الخارج من خلال نسيج المرشح، والجزء الداخلي للقرص، وعبر عمود مجوَّف متجهة إلى قناة التدفق الخارج. (ج) أقراص المرشح تدور خلال وضعية الغسيل المرتد بهدف إزالة المواد الصلبة المأسورة. (د) غسيل مرتد يزيل المواد الصلبة المترسبة وكذلك المواد الصلبة التي تم الاحتفاظ بها في نسيج المرشح (موافقة من: Courtesy of Aqua-Aerobic. Rockford, IL.)

يظهر الشكل 13-6 خيطاً ليفياً مفرداً مجوَّفاً لترشيح فوق ميكروي. تتوفر الألياف بحجمين 0.8 mm (القطر الداخلي)، و1.2 mm بثخانة جدار قدرها 0.2 mm إلى 0.4 للاستعمال في حالة العكورة العالية. تُركَّب الألياف المجوَّفة من بوليميرات مُحبَّة للمياه أو من البلاستيك. وقد تُركَّب ألياف الأغشية ضمن وحدة مختومة، أو تكون معلّقة على إطار مفتوح مُركَّب مباشرة ضمن حوض حمأة منشّطة، كما هو مبين في الشكل 13-7. قد تكون الوحدات الحاوية على 12000 خيط مجدولة على شكل وعاء ضغط عرضه .8-in مع نهايات من صمغ إيبوكسي كي يختم نهايات الألياف بإحكام. ولتخفيف الرائحة الكريهة، تتم غربلة مياه التغذية باستخدام فتحة µ 150. تُضخ المياه إلى الوحدات المُغلقة المختومة التي تعمل تحت الضغط، بينما تعمل الوحدات المفتوحة بحيث يتم إخلاء الهواء من مركز الخيط الليفي المعلّق في المحلول.

ترشّح الأغشية باتجاهين إما "خارج – إلى – داخل" أو "داخل – إلى – خارج". تمتاز أغشية خارج – إلى – داخل بمزيّة أصيلة تتمثّل بحدوث الترشيح على السطح الخارجي للغشاء المرشح. ويجب أن يتم التحكّم بتراكيز المواد الصلبة باستخدام أغشية داخل – إلى – خارج، وذلك للحد من ازدياد العلوّ، أو الانسداد نتيجة تثخّن المواد الصلبة في الغشاء. أما في أغشية خارج – إلى – داخل، فتعمل المرشحات تحت ظروف خلاء ضمن ألياف الغشاء المجوّفة. تساعد تذبذبات الهواء القادمة على شكل نبضات ضمن مياه التغذية على إبقاء الأغشية نظيفةً، وذلك عبر انتزاع المواد الصلبة من المرشّح. يمكن إنجاز المعالجة باستخدام وضعية الانسياب العرضي مع إعادة تدوير أو في وضعية الترشيح بالانسياب المستمر (النهاية المسدودة)، كما هو مبين في الشكل 13-8. ويستخدم الكثير من المصنّعين أسلوباً مركباً يبدأ بانسياب مباشر من الأسفل ثم انسياباً مباشراً من الأعلى، وذلك لإيجاد تلوّث متجانس، وأخيراً انسياباً عرضياً مع بدء تلوّث الأغشية أو في أثناء فترات العكورة نتيجة التغذية المرتفعة.



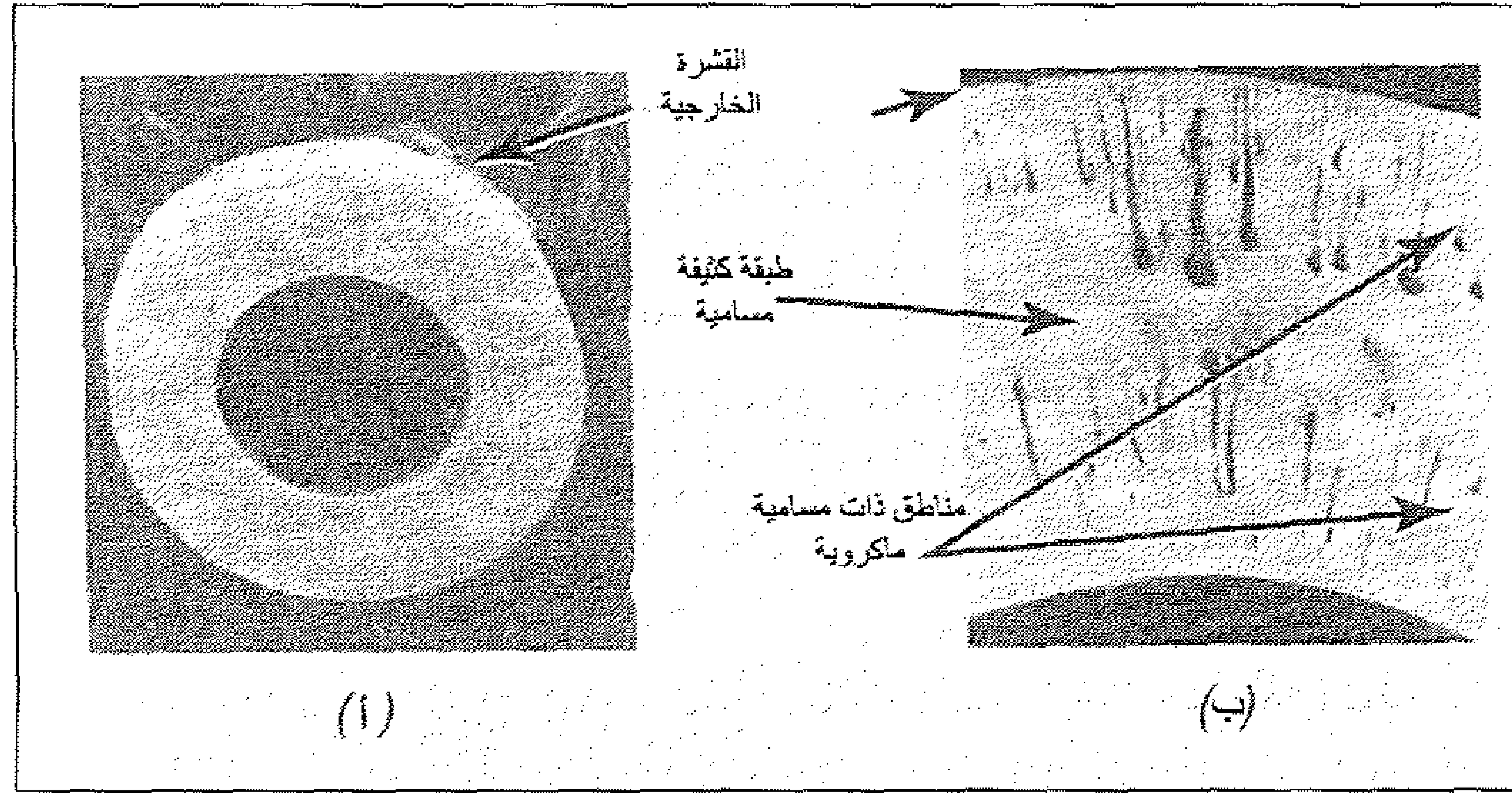
شكل 13-5: مقارنة أداء عكورة التدفق بين الداخل والخارج لأنماط ترشيح أوساط حُبيبيــة مختلفــة ومرشــحات قماشية (موافقة من Aqua-Aerobic, Rockford, IL.)

جدول 13-1: قرائن تصميم مختلفة وتطبيقات من أجل الترشيح

العملية	ضغوط التشغيل	مردودية (نسبة مئوية)	التدفق	الاستخدام الأساسي
ترشيح حُبيبي	10 أقدام من الماء (جاذبي) إلى 150 Psi (1000 kPa) (ضغط)	95-98	5 gpm/sq ft (12 m/d)	إزالة المواد الصلبة المعلّقة
ترشيح ميكروي	5-40 psi (5-7 Psi تفريغ هواء)	95-98	0.4-8 gpd/sq ft (1-20 m/d)	إزالة المواد الصلبة المعلّقة والبكتيريا
ترشيح فوق ميكروي (فائق)	15-60 psi	80-95	0.2-4 gpd/sq ft (0.5-10 m/d)	إزالة الفيروسات ومعالجة RO مسبقة
ترشيح نانوي	80-200 Psi	70-90	0.12-0.4 gpd/sq ft (0.3-1 m/d)	استعمالات نزع الفلزات، إزالة (TDS)
تناضح عكسي	150-600 psi	70-85	0.16-0.33 pgd/sq ft (0.4-0.8 m/d)	

يحافظ الانسياب المستعرض عموماً على سرعة دنيا للمحلول قدرها 8.0 ft/sec (2.5m/s) للتمكن من فرك وجرف المواد الصلبة من النسيج. والغسيل المرتد ضروري لإزالة الجزيئيات التي تتراكم على الأغشية خلال عملية عادية. لقد تمت أتمتة الغسيل المرتد (شكل 13-8) في خطوات متتابعة: شطف، غسيل مرتد، نقع،

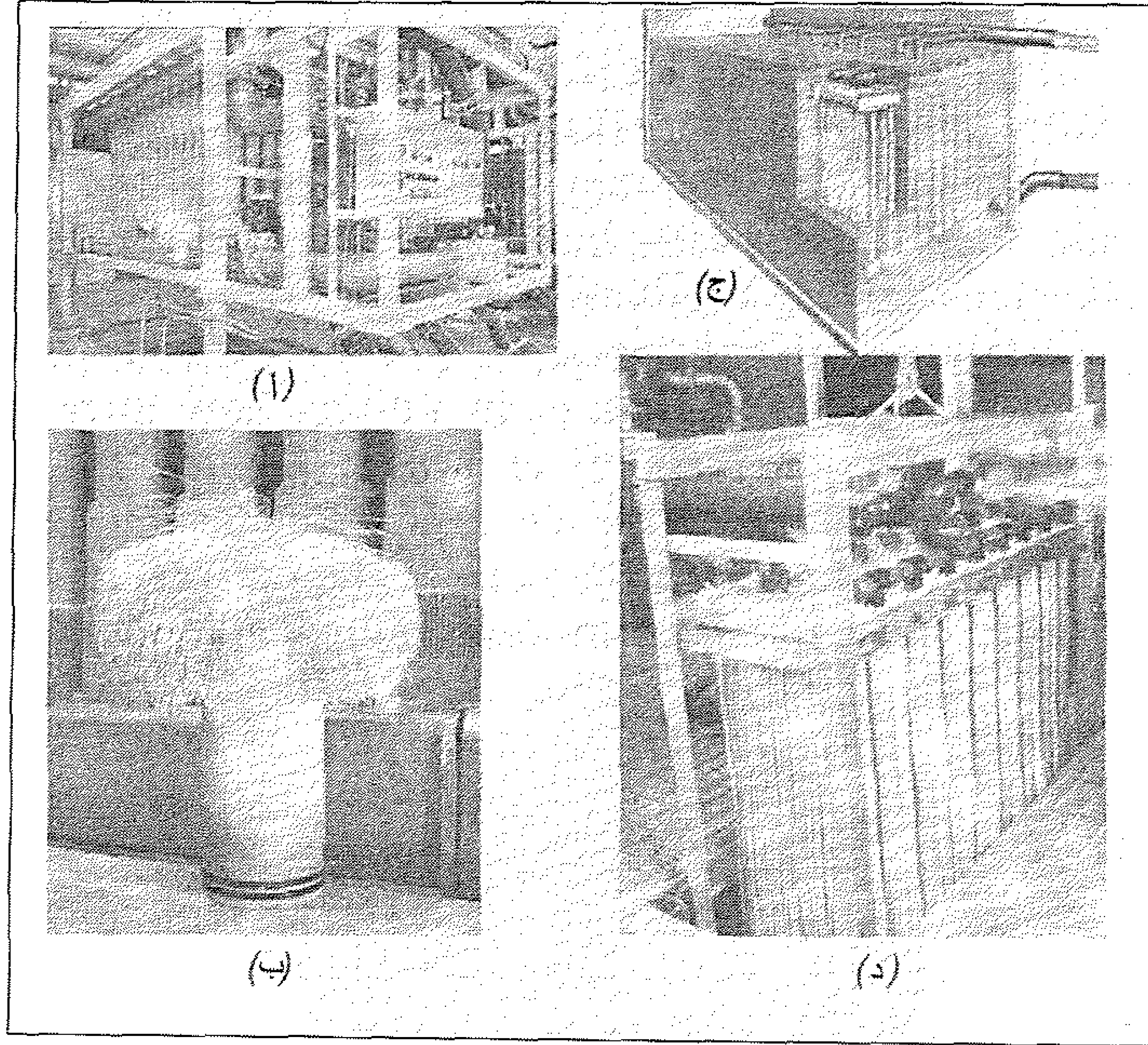
وغسيل نهائي. يجبر الشطف مياه التغذية على الخروج من الوحدة، ليزيل بالتالي فيزيائياً الجزيئيات من على سطح الألياف. يستخدم الغسيل المرتد الماء الناتج في غسيل عكسي ليزيل الجزيئيات من الغشاء ويستعمل في كل من السطح السفلي والعلوي للألياف. وقد يُضاف محلول كلور بتركيز (5-10 mg/l) للمساعدة في إزالة المواد العضوية. تسمح حلقة النقع بتأمين زمن كلورة كاف لتعقيم الألياف. يُغذّى السطح السفلي والعلوي بالغسيل المرتد النهائي بالوقت نفسه، وذلك لإزالة أيّ كلور ومواد صلبة متبقية.



شكل 13-6: صور مكبّرة لغشاء ألياف الترشيح فوق الميكروي. (أ) مقطع عبر ليف قطر **0.8** ميكرون. (ب) تكبير لجدار ليف يظهر عناصر الليف (موافقة من: **Pail Advanced Separation Systems, Fast I—fills, NY**)

ينتج الانسداد والتلوّث كريه الرائحة من المواد الصلبة (رمل، سلت، وغضار)، والمواد العضوية عالية الأوزان الجزيئية، والأوحال البكتيرية، والأكاسيد المعدنية، والرسوبات. فإن فقد الغسيل المرتدّ فعاليته، فلابدّ من اللجوء للتنظيف. يتضمن التنظيف إخراج الوحدة من الخدمة وإعادة تدوير محلول ذي pH منخفض (غالباً ما يكون حمض الخلّيك)، يعقبه محلول ذي pH مرتفع من فوق أكسيد الصوديوم لإذابة المواد العضوية والرواسب من الأغشية. قد تتكسر ألياف الوحدة ما يؤدي إلى تراجع الأداء. يُنجز اختبار الفقاعة البصرية، بحيث تكون الوحدة خارج الخط، وذلك للتأكّد من سلامة الألياف. فإنّ وجد أن أحد الألياف مكسور، يتم عزله بوضع سدّادةٍ من الفولاذ غير القابل للصدأ في داخل كلّ من نهايتي الأنبوب.

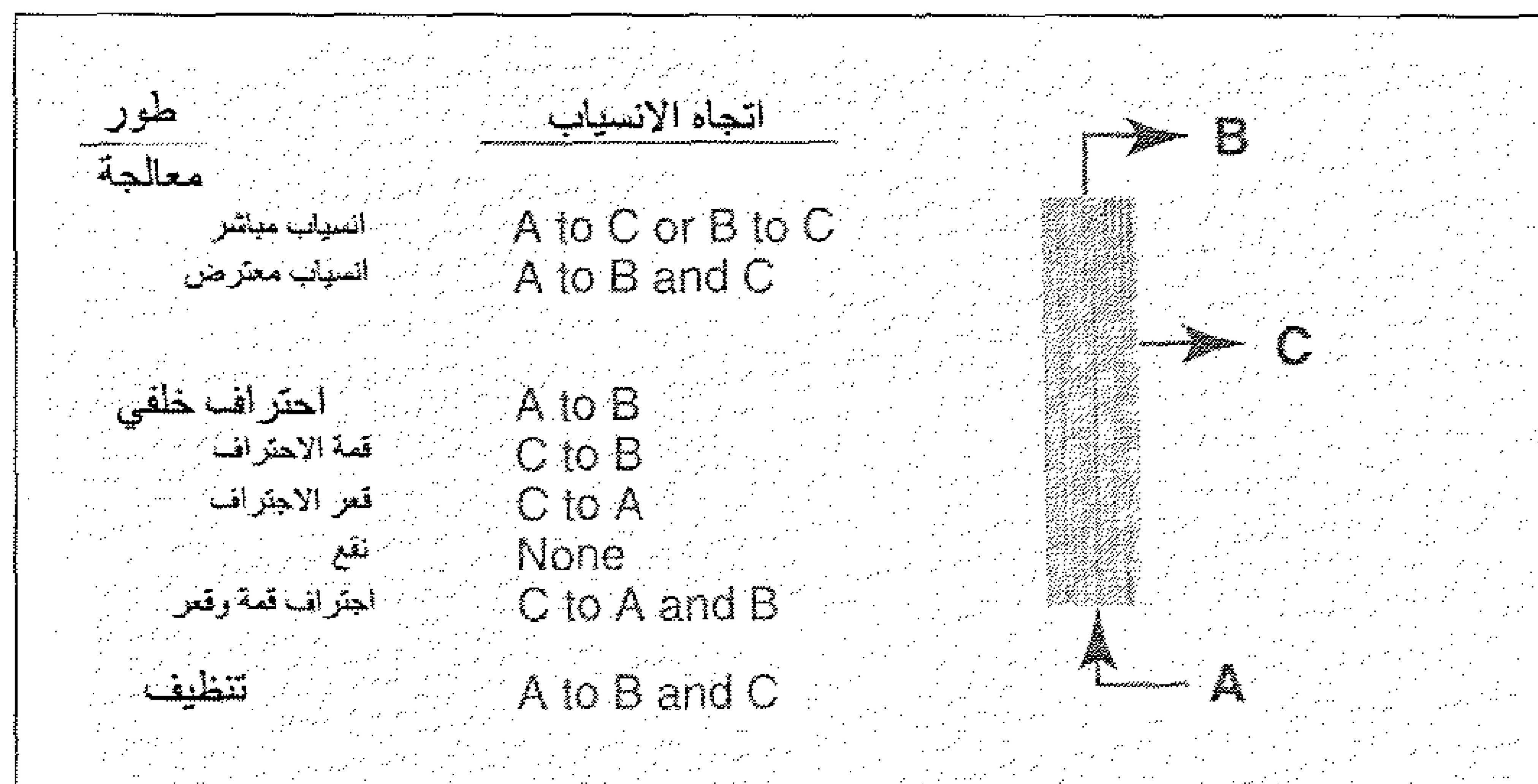
تشابه معدات التناضح العكسي ومعالجة مياه الصرف تلك التي تمت مناقشتها في الفقرة 7-27. والمعالجة المسبقة بهدف الإقلال من المواد الصلبة، مسألة حاسمة في التناضح العكسي. يظهر الشكل (13-9أ) عملية المعالجة المسبقة، بما فيها ترسيب الجير، والترسيب، وإعادة الكربنة، الترشيح بأوساط حُبيبية، وترشيح كربوني.



شكل 7-13: بدائل تركيبية لألياف ترشيح غشائية (أ) وحدات ضغط مركَّبة على حامل تحوي ألياف ترشيح فوق ميكروي (مصنّعة من قبل **by U.S. Filter**). (ب) محتويات وحدة ضغط تظهر ألياف المرشح وحلقات إغلاق الإحكام. (ج) رسم تخطيطي لألياف مرشح مركب مباشرة ضمن حوض تهوية. (د) بنية الألياف والتدعيم وهي قيد سحبها من حوض التهوية (موافقة من: **Zenon Environmental, Inc., Oakville, Ontario. Canada**)

إن ترسيب الجير هو الخطوة الأولى في المعالجة الفيزيائية – الكيميائية، والتي خلالها تقوم القلوية العالية بقتل البكتيريا وتعطيل الفيروسات. والتكدُّر والترسيب ضروريان لغسيل المواد الصلبة. تُستخدم إعادة الكربنة لموازنة مياه الصرف، ويستخدم الترشيح بأوساط حُبيبية لإزالة المواد الصلبة غير القابلة للترسب. يستخدم الكربون الحُبيبي المنشط لامتزاز تراكيز الأثر لمجموعة متنوعة من المركَّبات العضوية اللاقطبية. وقد تُستخدم إضافات حمضية لتقليل احتمال ترسيب مركبات

الكالسيوم والسيليكا. ويكون الماء الناتج جاهزاً للاستعمال في التناضح العكسي أو في الترشيح فوق الميكروي، وذلك مع إضافات كيميائية كمعالجة مسبقة. تنتج كلتا العمليتين معالجةً تزيل البكتيريا، والفيروسات، والمواد العضوية وتقلِّل تراكيز المواد الصلبة المُذابة.



شكل 13-8: عرض تخطيطي لأنماط الانسياب ممثلاً باستخدام ليف مفرد (تشغيل "داخل – خارج"). التشغيل "خارج – داخل" مشابه، بحيث يكون اتجاها A وC معكوسين، وقد أبعدت B من الوحدة

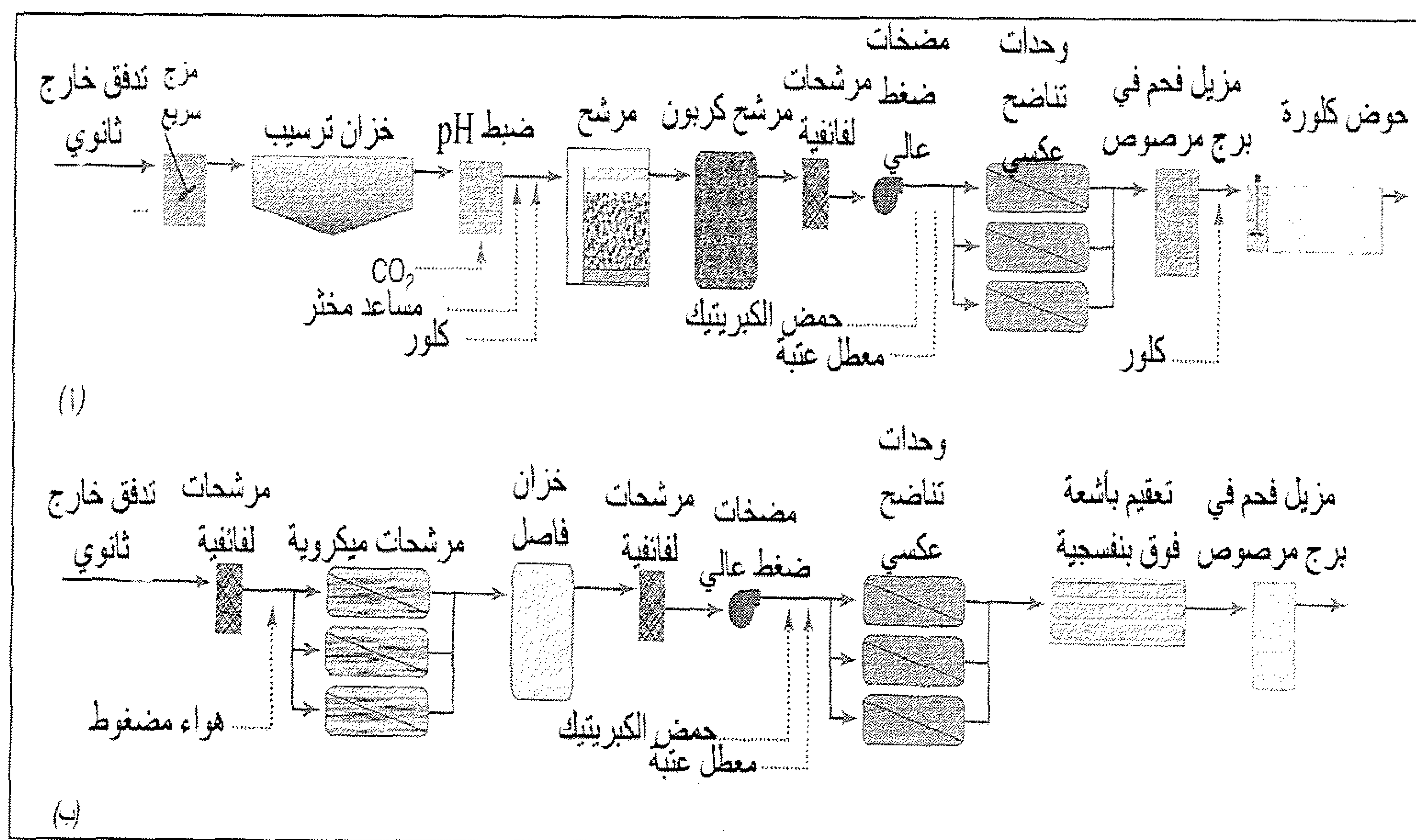
13-3 إزالة المُمرضات

ينتقل الكثير من الأمراض المعدية عبر الفضلات البرازيّة، وتضم المُمرضات كل أصناف العضويات المجهرية، والفيروسات، والبكتيريا، والابتدائيات، والديدان الطفيلية. تعتمد أنواع وتراكيز المُمرضات في مياه صرف تجمّع سكاني ما على صحة السكان. والمُمرضات النموذجية في البراز البشري مدرجة في الجدول 3-1. (تناقش الفقرة 3-5 الأمراض المنقولة بالماء).

يتطلب تعقيم مياه الصرف المعالجة بيولوجياً تخثّراً وترشيحاً بأوساط حُبيبيّة، يعقبه كلورة لزمن تماس مديد. وبالرغم من أن الكلورة فعّالة في قتل البكتيريا وفي تعطيل الفيروسات المعوية، ويمكن حماية المُمرضات في المواد الصلبة المعلّقة والغروية، إن لم تُرشّح مياه الصرف أولاً لإزالة العكورة (المواد الصلبة). إن

كييسات الابتدائيات وبيوض الديدان الطفيلية مقاومة للكلور، وتحتاج إزالة فيزيائية عبر تخثير كيميائيٍّ فاعل وترشيح أوساط حُبيبية أو ترشيح غشائيٍّ. وبالرغم من أن تعقيم مياه الصرف بمعالجة ثالثية غير محدَّد كما هو حال تعقيم المياه السطحية للتجهيز بمياه الشرب (الفقرة 7-15)، إلا أن مبادئ إزالة المُمرضات هي ذاتها.

وفي إعادة استخدام تدفقات مياه الصرف الحاوية على فيروسات معوية، فإن التّماس البشري مدعاة قلق كبير. وقد تكون إعادة الاستعمال غير متعمّدة، كأن تصرف المياه مثلاً إلى سرير نهر يستطيع الأطفال اللهو فيه، أو متعمدة، كما هو الحال في ريّ البساتين والمناطق الطبيعية. وفي ما يأتي ملخّص موجز لدراسة على التعقيم الثالثي بهدف إزالة الفيروسات وتطبيقها من قبل الدوائر الصحية في مقاطعة لوس أنجلوس.



شكل 13-9: مخططات لمسار العمليات يظهر معالجة مسبقة ومعالجة تناضح عكسي (أ) مخطط لمعالجة مسبقة نموذجيّة باستخدام إضافة الجير، إضافة ثاني أكسيد الكربون (من أجل ضبط pH)، ترشيح حُبيبي (إزالة المواد الصلبة)، مرشحات كربون (إزالة عضوية)، مرشحات لفائفية، إضافة حمض، وتناضح عكسي، (ب) مخطط لترشيح غشائي مستخدم كمعالجة مسبقة للتناضح العكسي

لقد تحرَّت دراسة أنجزتها دائرة بومونا الصحية لما أسمته "دراسة فيروس بومونا" كفاءة إزالة الفيروسات في أنظمة معالجة ثالثية متعددة على مقياس محطة تجريبية. تعرض النتائج الترشيحَ المباشر بجرعات شبّة منخفضة قدرها 5 mg/l مع مزج خطّي تقليدي، وتخثر، ووحدات ترسيب قبل الترشيح. بلغ معدل الترشيح 5 gpm/sq ft، وكانت الكلورة في خزان سادٍّ للانسياب مع متبقي كلور قدره 5 إلى 10 mg/l بعد فترة تماس مدتها ساعتان. لقد تم تخفيض تركيز القولونيات في التدفق الخارج الثالثي إلى ما دون 2.2 في كل 100 ml. تعتمد كفاءات الأنظمة الثالثية على إزالة فيروسات شلل الأطفال التي أضيفت إلى مياه الصرف قبل المعالجة. تركزت الاستنتاجات الرئيسة للدراسة في أن معظم تعطيل الفيروسات قد حدث خلال التعقيم، وفي أن دور الترشيح بإضافة الشبّة، كان إزالة المواد الصلبة المعلَّقة التي تتداخل مع تعقيم التدفق الخارج. إضافة إلى الاستنتاج بأن تركيز الكلور المتبقي يؤثِّر مباشرةً في تركيز الفيروسات في التدفق الخارج.

يجب أن تصمَّم حجرة الكلوَرة بشكلٍ سليمٍ للوصول إلى تعقيمٍ فاعل. والمزج السريع أمر حاسم لتأمين خلط محلول الكلور مع مياه الصرف، حيث يليه انسياب ساد عبر خزان التماس، وهو عادةً قناة طويلة وضيقة وملتوية. ويتم المحافظة على جرعة الكلور عبر مراقبة أوتوماتيكية للكلور المتبقي مع تحكُّم بالتغذية المرتدة. فإن كان من الضروري إزالة كلورة التدفق الخارج، فإن ذلك ممكن بإضافة محلول ثاني أكسيد الكبريت عند نهاية صرف حجرة الكلوَرة.

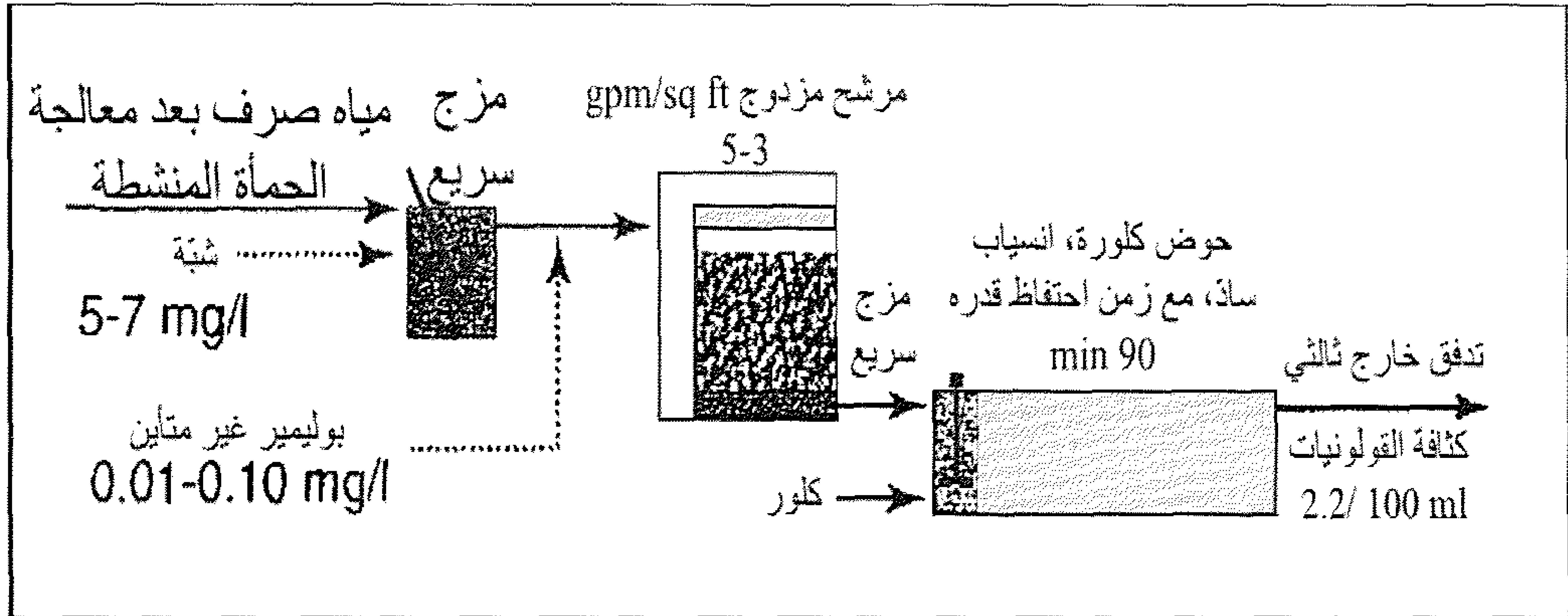
لقد تم إنجاز معالجة ثالثية عبر ترشيح مباشر، كما هو مبين في الشكل 10-13، في ست محطات لدوائر صحية في مقاطعة لوس أنجلوس (لونغ بيتش، لوس كيوتس، بومونا، سان جوزيه كريك، ويتير ناروز، وفالنسيا)، معالجةً لمجموع قدره 150 mgd. لقد تم ترشيح تدفقٍ ثانويٍّ متأتٍّ من معالجة حمأة منشطة بواسطة أوساط مزدوجة مكوَّنة من أنتراسيت –رمل وذلك في خمس محطات، وبواسطة كربون حُبيبيّ في محطة واحدة. لقد كان للمحطات صناديق ترشيح عميقة بمعدل

ترشيح ثابت مُتحكّم به عبر شطر انسياب التدفق الداخل، كما كان فيها أنظمة غسيل مرتد مكوَّنة من هواء – مياه مع استرداد مياه الغسيل. ومن أجل التخثير الكيميائي، تمت إضافة الشبّة وبوليمير غير متأين. بلغ متوسط زمن التماس 90 دقيقة تقريباً مع متبقي نهائي للكلور يبلغ 4 إلى 5 mg/l، والذي توجَّبت إزالته قبل الطرح. إن معيار التدفق الخارج لمياه مستصلحة ذات نوعية جيدة في كاليفورنيا هو متوسط لتركيز القولونيات لا يتجاوز 2.2 قولونيات كلية في 100 ml، وذلك وفقاً لما تم تقديره في سبعة اختبارات، وحدّ أقصى لتركيز القولونيات لا يتجاوز 23 قولونيات كلية في 100 ml، في أيّ عيّنة، وحدٌ للعكورة لا يتجاوز متوسطاً قدره 2 NTU أو يتجاوز 5 NTU في زمن يبلغ 5% من فترة 24-hr لقد التزمت المحطات الست بهذه القرائن مع نسبة مئوية ضئيلة من العينات تجاوزت الحدّ الأدنى للعكورة وحدود القولونيات الكليّة. وقلَّما تم اكتشاف قولونيات برازية. واستناداً إلى اعتيان للفيروسات عبر فترة 10 سنوات، احتوت عينة واحدة من أصل 590 عينة (بلغ متوسط حجم كل عينة 275 gal من مياه الصرف المرشّحة) على فيروسات معوية (كوكساكي بي3، Coxsackie B3).

4-13 إزالة المواد السامّة

لقد تم تصنيف مواد كيميائية عضوية متعددة وأيونات لاعضوية متعددة، كانت غالباً معادن ثقيلة، على أنها ملوّثات سامّة للمياه. ولتصنيف مادة بأنها ملوّثة، ينبغي أن تكون المادة السامة خطيرة على الحياة المائية أو على الإنسان، وأن يكون وجودها معروفاً في المياه الملوّثة. وقد تكون السُميّة مرتبطة إما بالتأثيرات الحادة أو بالتأثيرات المزمنة على العضويات نفسها، أو على الإنسان عبر التراكم الحيوي في المأكولات البحرية. إن بقاء وجود الملوّثات في الطبيعة وعبر المعالجة عوامل مهمة أيضاً. قد ترتبط السُميّة بالنسبة إلى الإنسان إما بالسرطنة أو بالأمراض المزمنة عبر الاستهلاك المديد للملوّثات. وقد أدرجت في الوقت الراهن 100 مادة باعتبارها الملوّثات الأعلى سميّة للمياه. وبعضها موثق بشكل جيد على أنها مواد

سامة، بينما يتوفر لبعض آخر معلومات محدودة تؤكِّد خطورتها على البيئة المائية والصحة البشرية.



شكل 13-10: مخطط لمعالجة ثالثية لإزالة الفيروسات، الدوائر الصحية لمقاطعة لوس أنجلوس، كاليفورنيا

يُستدل على السُميّة العالية لمياه الصرف من اضطراب العمليات الحيوية في معالجة مياه الصرف. ويعتبر ذلك مؤشراً على طرح مواد صناعية سامّة في نظام جمع مياه المجارير. تُزال المعادن الثقيلة جزئياً بالاصطياد والامتزاز على المواد الصلبة أو الكدرات الحيوية المترسبة، غير أن جزءاً من هذه المعادن يظهر في التدفق الخارج. وقد تصل النسبة المئوية لإزالة بعض العناصر كالكادميوم والكروم والنحاس والرصاص والنيكل إلى 70%. وتتوفر بيانات قليلة جداً عن إزالة المركّبات العضوية السامة. وقد يتفكك بعضها حيوياً، ويصطاد بعض آخر في المواد الصلبة المترسبة أو يتبخر، ولكن يحتمل أن يتأثر الكثير منها بشكل طفيف فقط بحيث يوجد في مياه الصرف المعالجة.

إن الهدف العام لمعالجة مياه الصرف المدنية مع معالجة مسبقة لمياه الصرف الصناعيّة هو تخفيف طرح الملوّثات السامّة إلى مستوٍ يمكن إهماله. وتقييم تخفيض السُميّة في محطة معالجة هو الخطوة الأولى. والأهداف هي تقييم عمل وأداء المحطة لتحديد وتصحيح عيوب المعالجة التي تتسبب بسميّة التدفق الخارج، وتحديد

المواد السامّة فيه، وتتبعها إلى مصدرها في مياه الصرف، واتخاذ إجراءات علاجية مناسبة لتخفيف سميّة التدفق الخارج.

إن المقاربة التقليدية لتقويم السُميّة هو فحص عينات مياه صرف خام وعينات مياه صرف معالجة من أجل مواد محدّدة. ويمكن أن يكون ذلك مكلفاً جداً إلا إذا كانت المواد السامة المحتمل وجودها قابلة لأن تُخفف إلى سويات معقولة. ويجب أن تتكون الاختبارات الأولية لهذه المواد مرتبطة بالطروحات المتأتية من الصناعة المخدّمة بنظام المجارير. وبعد تحديد الملوّثات السامة كمياً، يجب أن تُتخذ إجراءات وقائية وذلك بتطبيق معالجة مسبقة لمياه الصرف الصناعيّ في المصنع، وبتحسين معالجة مياه الصرف في محطة المعالجة. إن العيوب المحتملة في هذه المقاربة التحليلية المتمثّلة بالاختبارات الكيميائية هي وراء الوجود المحتمل للمواد الكيميائية السامة غير المكتشفة واتحادات المواد السامة المتضافرة.

تتم المقاربة الثانية لتقويم السُميّة عبر المراقبة الحيوية للتدفق الخارج، والتي يُشار إليها عادةً بالسُميّة الكلية للتدفق الخارج. تُنجز التحاليل الكيميائية لتقدير السُميّة عبر تعريض عضويات مائية منتقاة إلى التدفق الخارج لمياه الصرف في بيئة مخبرية مراقبة. وفي الاختبار السكوني للسميّة الحادة، يتم وضع التدفق الخارج في حاويات مخبرية، وتُضاف عضويات الفحص، وتُحفظ الحاوية في بيئة مراقبة لمدة 24 hr. يتم بالتوازي إنجاز اختبار مراقبة في ماء محضَّر وذلك لضمان نوعية عضويات الاختبار وإجراءاته. وهناك طريقة تحليل حيوي محسَّنة هي الاختبار عبر الانسياب، يتم خلاله تزويد الحاويات المخبرية باستمرار بتدفق خارج طازج مع الإبقاء على انسياب خارج مستمر. ويكون التدفق الخارج عادةً عينةً مركَّبةً على مدى 24-hr، تم ترشيحها وتهويتها وموازنتها لدى درجة حرارة $20^{\circ}C$ لاختبار أنواع عضويات الماء الدافئ ($12^{\circ}C$ لأنواع عضويات المياه الباردة). ومن بين الأنواع المتعددة للفقريات واللافقاريات المُستخدمة، وُجد أن عضويات المياه الدافئة الشائعة هي المِنوة المبرقشة وبرغوث الماء (دافنيا).

تتغذى المنوة المبرقشة، والتي تعتبر غذاءً أساسياً، على الطحالب وتنمو لتصل إلى متوسط طول قدره 50 mm بفترة حياة عادية أقل من 3 سنوات. والدافنيا عبارة عن فقاريات تتغذى على الطحالب، تنمو لتصل إلى طول 4 إلى 6 mm بفترة حياة عادية تتراوح من 40 إلى 60 يوم. تم اختبار 10 إلى 20 فرداً من كلا النوعين في حاويات متعدّدة تحت درجة حرارة مراقبة، وكثافة خفيفة، وDO، وpH، وإمداد غذائيٍّ. يُعبّر عن نتائج اختبار الغربلة بالنسب المئوية للمنوة المبرقشة ولبراغيث الماء التي بقيت على قيد الحياة.

تُجرى تحاليل كيميائية قاطعة لفترات اختبار أطول لتخفيفات التدفق الخارجي في زمرة هندسية، وفي حال السُميّة المزمنة، تمتد فترات الاختبار الموصى بها إلى 7 أيام، وذلك عبر تجديد مياه التدفق الخارجي المخفف كل 24 hr في الاختبارات السكونية، أو بشكل مستمر في اختبارات تتم في أثناء الانسياب. قد تكون مياه التخفيف مياهاً صنعية أو مياهاً مرشحة من المياه المستقبلة بعيداً عن نقطة طرح مياه الصرف. واستناداً إلى النتائج، يتم تقدير تركيز التأثير غير ملاحظ (NOEC) في عينات الاختبار المخفف. ويقارن هذا التركيز بتركيز مياه الصرف بعد المزج الأولي لمياه الصرف في جسم المياه المستقبلة. ويجب أن يكون التركيز الأولي لمياه الصرف أقل من (NOEC)، مع ترك هامش أمان.

والمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي أمر أساسي لمراقبة المواد السامّة والتحكُّم بها. ونظراً إلى كون الكثير من المواد السامة هي مبيدات حية، فإن تخفيف تراكيزها في مياه الصرف أمر أساسي لمعالجة حيوية فاعلة. وإن كان الدليل على السُميّة أقل وضوحاً وتأثيراً، فإن وجودها في مياه الصرف الخام وفي التدفق الخارج من محطات المعالجة قد يمر دون أن يُلحظ. وتتضمن القائمة النموذجيّة للملوّثات السامة 13 معدناً، وسيانيد، و15 هيدروكربون أريجي متعدد النواة، و13 مركّباً أريجياً، و10 فينولات، و21 مركباً أليفاتياً، و6 فثالات، ومركبان نتروجينيان، ومركبان مؤكسجان، ومبيدات حشرية.

5-13 الفوسفور في مياه الصرف

إن الأشكال الشائعة للفوسفور في مياه لصرف هي الأورثوفوسفات (PO_4)، والبولي فوسفات (بوليميرات من حمض الفوسفوريك)، وفوسفات مرتبطة عضوياً. يتحلمأ البولي فوسفات كالهكساميتافوسفات تدريجياً في الماء إلى شكل أورثو المُذاب، كما يحرّر التحلُّل البكتيري للمركبات العضوية أيضاً الأورثوفوسفات. ولكون أغلبية المركَّبات في مياه الصرف ذوّابة، فإن الفوسفور يُزال باعتدال بالترسيب البسيط. تزيل المعالجة الحيوية الثانوية الفوسفورَ عبر الامتصاص الحيوي، غير أن كمية الفوسفور في التدفق الداخل بالنسبة إلى كميات النِتروجين والكربون أكبر من احتياج التركيب الضوئي. وبالتالي فإن المعالجة التقليدية تزيل فقط حوالى 20 إلى 40% من فوسفور التدفق الداخل.

والفوسفور الحيوي هو ذلك الفوسفور المندمج ضمن الكتلة الحيوية لنمو الخلية. ينتج الأورثوفوسفات والبولي فوسفات من تحلّل المادة العضوية ويمكن إزالتهما عبر العمليات الكيميائية أو الحيوية. إن الأورثوفوسفات أكثر أنواع الفوسفات توفراً، ويمكن إزالته من مياه الصرف عبر الامتصاص الحيوي أو الترسيب الكيميائي. والبولي فوسفات هي أورثوفوسفات كثيفة، تُستخدم الأملاح المعدنية للألمنيوم والحديد بشكل شائع في ترسيب الفوسفات. وسيزيل التناضح العكسي وعمليات غشائية أخرى الجزيئيات العضوية والأشكال الكيميائية الأخرى للفوسفور فيزيائياً.

والفعل العلاجي لتلوّث الفوسفور هو معالجة مياه الصرف التي تُطرح مباشرة في البحيرات والأنهار أو الجداول التي تنساب إلى البحيرات. لقد اعتمدت ولايات متعدّدة معايير للفوسفور في التدفق الداخل تتراوح من 0.1 إلى 2.0 mg/l كعنصر فوسفور، بينما حدّدت كثير من الولايات محتواه بـــ 1.0 mg/l. ولحماية البحيرات والمياه السطحية في البحيرات العظمى وأحواض صرف خليج شيزبيك، فلقد نُفِّذت إزالة الفوسفور في الكثير من مرافق معالجة مياه الصرف[2]. ومن أصل 526 محطة

في حوض صرف خليج شيزبيك (ميريلاند، شمال كالفورنيا، بنسلفانيا، وفرجينيا)، فإن 99 منها تقوم بإزالة الفوسفور.

إزالة الفوسفور بالمعالجة التقليدية

يظهر الجدول 2-13 تركيب المغذيات لمياه صرف صحيٍّ عادية اعتماداً على قيمة 120 gpcd (450 l/person . day). يدخل الفوسفور إلى المجرور بشكل ذوّاب ومرتبط عضوياً بالفوسفات. يحرّر النشاط الحيوي في المجرور الفوسفات المرتبطة عضوياً والتي لم تترسب بالترسيب البسيط لمياه الصرف الخام إلى المحلول. تتفاوت كمية الفوسفات المرتبطة عضوياً المتحرّرة إلى شكل ذوّاب تبعاً لطول المجرور، ودرجة حرارة مياه الصرف والظروف الحيوية.

تنخفض كمية الفوسفور الإجمالية استناداً إلى القيم المجدولة، من 7 إلى mg/l 6عبر الترسيب. وتزيل المعالجة الحيوية الثانوية الفوسفور بواسطة الامتصاص الحيوي، ولكن كمية الفوسفور تزيد نسبياً عن كمية النتروجين والكربون الضروريتين للتركيب الضوئي (فقرة 9-1). وعموماً، تساوي كمية الفوسفور الكدرة الحيوية الفائضة الناتجة عن معالجة الحمأة المنشطة لمياه الصرف، حوالى 1% من الـــ BOD المستعمل. واستناداً إلى ذلك سينخفض الفوسفور أكثر من 6 mg/l إلى ما يقارب 5 mg/l. وبنتيجة ذلك سينخفض الفوسفور الإجمالي البالغ 7 mg/l في مياه الصرف إلى 5 mg/l في التدفق الخارج المعالج حيوياً.

جدول 2-13: التركيب التقريبي للمغذيات لمياه صرف استناداً إلى 120 gpcd (l/person . (450 day

المعامل	خام	بعد الترسيب	معالج حيوياً
المحتوى العضوي (mg/l)			
SS	240	120	30
احتياج أكسجين	200	130	30

محتوى النتروجين (mg/l كنتروجين)			
نتروجين لاعضوي	22	22	24
نتروجين عضوي	13	8	2
نتروجين إجمالي	35	30	26
محتوى الفوسفور (mg/l كفوسفور)			
فوسفور لاعضوي	4	4	3
فوسفور عضوي	3	2	2
فوسفور إجمالي	7	6	5

مثال 13-1

باستخدام القيم المعطاة في الجدول 13-2، تتبّع الفوسفور اللاعضوي، والعضوي والإجمالي عبر محطة معالجة تقليدية لحمأة منشطة. ميِّز الفوسفور الإجمالي كنسبة مئوية من فوسفور التدفق الداخل المساوي لـــ 100%. افترض أن إزالة المروّق الأولي تبلغ 35% للـــ BOD و50% للمواد الصلبة، و0.9% للفوسفور. يعمل نظام حمأة الصرف المنشطة لدى قيمة (*F/M*) تساوي 0.40 ويحوي 2.0% فوسفور في حمأة الصرف المنشطة. تعيد الرشاحة تدوير 5% من الفوسفور في التدفق الداخل.

الحل

باستخدام قيم التدفق الداخل (الخام) من الجدول 13-2، نجد أن SS = 240 mg/l، BOD = 200 mg/l، الفوسفور اللاعضوي 4 mg/l، الفوسفور العضوي 3 mg/l. تبلغ قيمة كلّ منSS وBOD في التدفق الخارج 30 mg/l. ولدى إزالة SS قدرها 50%، تكون المواد الصلبة الأولية 120 mg/l من التدفق الداخل.

الفوسفور في الحمأة الأولية يساوي:

من الفوسفور العضوي 0.009 . 120 = 1.1 mg/l

يتكون التدفق الخارج الأولي من SS = 120 mg/l، BOD = 130 mg/l، ويبقى الفوسفور اللاعضوي بلا تغيير لدى 4.0 mg/l إضافةً إلى إعادة تدوير الفوسفور بمقدار 0.35 mg/l، وتخفيف الفوسفور العضوي إلى 1.9 mg/l من أجل تركيز الفوسفور في التدفق الخارج الأولي يبلغ 6.25 mg/l .

ومن الشكل 11-50 ولدى قيمة (*F/M*) تساوي 0.40، فإن *K* تساوي 0.50:

من المواد الصلبة للحمأة $W_s = 0.50 . 130 = 65$ mg

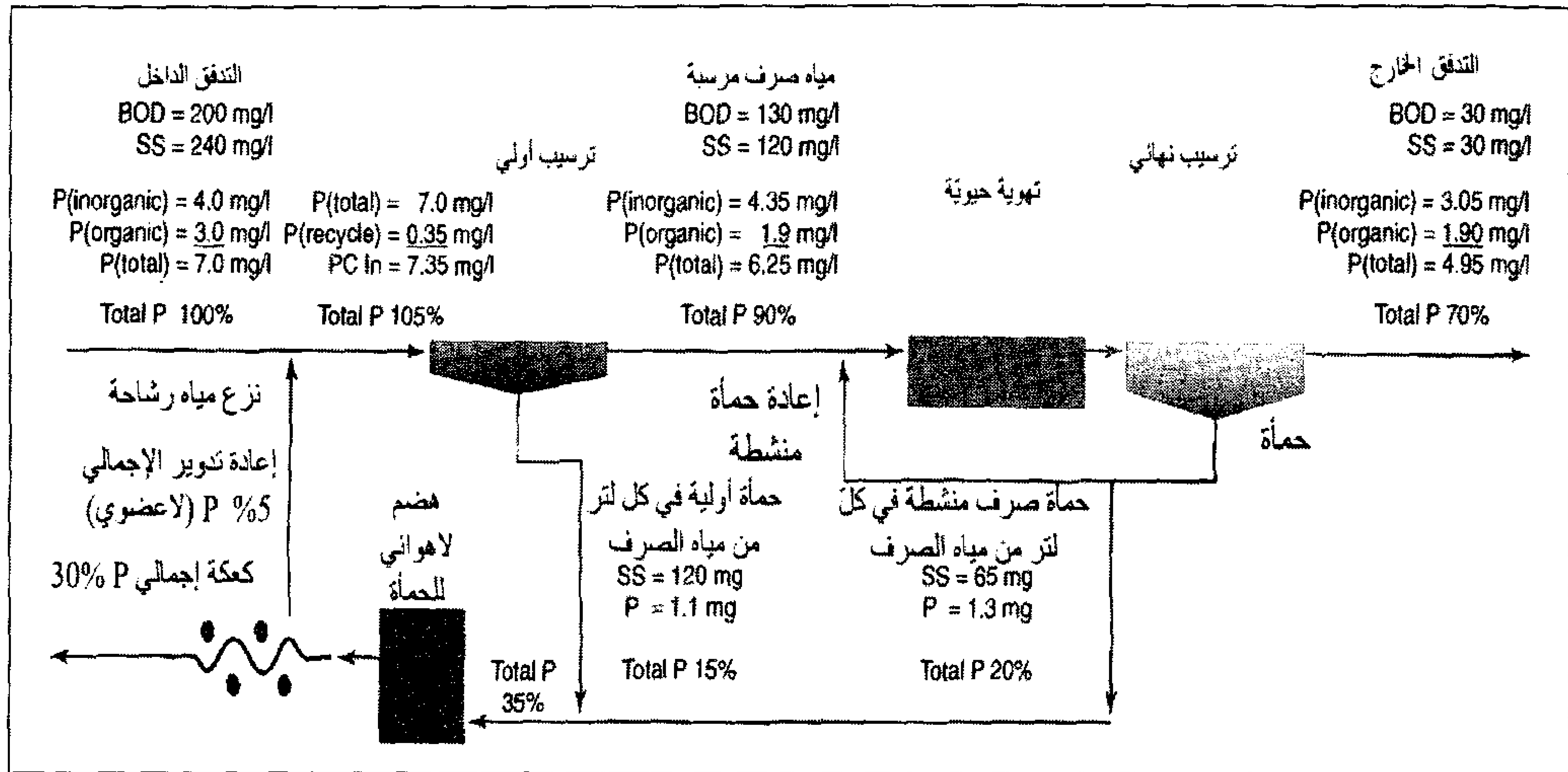
محتوى فوسفور المواد الصلبة في المواد الصلبة للحمأة يساوي

من الفوسفور العضوي = 0.02 . 65 = 1.3 mg

يبلغ الفوسفور الإجمالي في التدفق الخارج الأولي 6.25 mg/l في حوض التهوية مطروحاً منه 1.3 mg/l (اعتماداً على انسيابِ التدفق الداخل)، من أجل 4.95 mg/l في التدفق الخارج للمحطة. ويعتبر أن 1.3 mg/l في الانسياب السفلي سيُزال من الفوسفور اللاعضوي المستهلك لتأمين نمو الخلية، تاركاً 3.05 mg/l في التدفق الخارج. يبلغ الفوسفور العضوي في التدفق الخارج للمحطة mg/l SS = 0.6 mg 30. 0.02، ولكن فوسفوراً عضوياً إضافياً قدره 1.3 mg/l محتوىً في المادة العضوية لم يتم ترسُّبه في المروّق. سيكون تركيز الفوسفور الإجمالي في التدفق الخارج للمحطة 4.95 mg/l، أو حوالى 70% من تركيز التدفق الداخل.

ومن هذه الحسابات، فإن موازنة قيم BOD، SS، وP يمكن أن يُحسب ويُرسم بيانياً في الجدول 11-13. وإذا كان تركيز الفوسفور الإجمالي قد حددت قيمته بـــ 100%، وستكون الإزالة في التدفق الأولي 15% و20% في التدفق الثانوي، ما ينتج في طرح التدفق الخارج 70% من فوسفور التدفق الأولي. ونظراً إلى تحرُّر

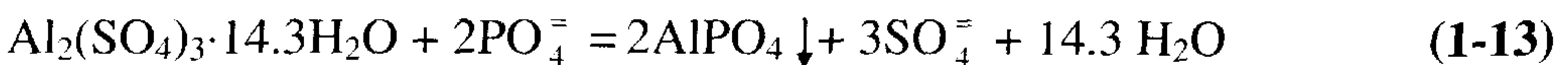
الفوسفور تحت ظروف لاهوائية، فإن بعض الفوسفور يُعاد إلى بداية المحطة في إعادة تدوير الرشاحة بصورة أورثو فوسفور (لاعضوي). وبالطبع فإن تغيرات خصائص مياه الصرف وطرائق المعالجة المختلفة يمكن أن تتسبب بكفاءات إزالة مرتفعة أو منخفضة. وتبقى إزالة الفوسفور بأنظمة المعالجة الحيوية التقليدية عموماً ضمن مجال 20 إلى 40%.



شكل 13-11: مخطط تتبع فوسفور مياه الصرف عبر محطة معالجة تقليدية افتراضيّة. من أصل 100% فوسفور التدفق الداخل، 70% منه موجود في مياه الصرف المعالجة، و30% في كعكة المواد الصلبة للحمأة المهـضومة المنزوع ماؤها. تعليقات الشكل من نتائج المثال 13-1

13-6 إزالة الفوسفور كيميائياً وحيوياً

إن الترسيب الكيميائي باستخدام مخثرات الألمنيوم والحديد فاعلة في إزالة الفسفور. وبالرغم من أن تفاعلات التخثّر معقدة وغير مفهومة إلا جزئياً، إلا أن التفاعل الرئيس يبدو أنه اتحاد الأورثوفوسفات مع كاتيون الحديد. ويحتمل أن البولي فوسفات ومركبات الفوسفور العضوي قد أزيلت عبر إمساكها، أو أنها امتزت في جسيمات الكدرة. تتحد أيونات الألمنيوم مع أيونات الفوسفات كالآتي:



$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O + 2PO_4^{\equiv} = 2AlPO_4 \downarrow + 3SO_4^{=} + 14.3\ H_2O \qquad \textbf{(1-13)}$$

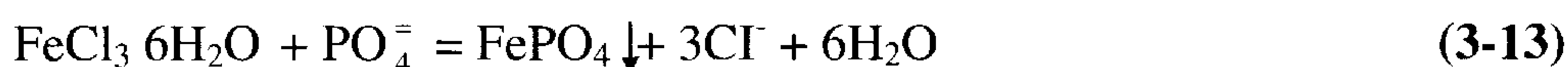
إن النسبة المولارية للـــ Al بالنسبة إلى الـــ P تساوي 1، والنسبة الوزنية للشبّة الصناعية إلى الفوسفور تساوي 9.7 إلى 1.0. لقد أظهرت دراسات التخثر أن جرعات شبّة أعلى من هذه النسبة ضرورية لترسيب الفوسفور من مياه الصرف. إن أحد التفاعلات المنافسة، والمسؤولة عن جزء من فائض متطلب الشبّة هو التفاعل مع القلوية الطبيعية وفقاً لما يأتي:



$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O + 6HCO_3^- = 2Al(OH)_3\downarrow + 3SO_4^= + 6CO_3 + 4.3H_2O \quad \textbf{(2-13)}$$

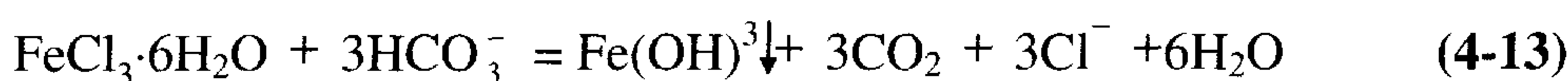
وكنتيجة لذلك، فإن تخفيض الفوسفور بنسب 75%، 85%، 95%، يتطلب نسب وزنية شبّة إلى فوسفور تبلغ 13 إلى 1، و16 إلى 1، و22 إلى 1 على التوالي. فمثلاً، للوصول إلى إزالة فوسفور بنسبة 85% من مياه صرف تحوي 10 mg/l من الـــ P، فإن جرعة الشبّة المطلوبة تبلغ 160 mg/l = 10 . 16، وهي أكبر من كمية الاتحاد العنصري للشبّة التي تبلغ97 mg/l = 10 . 9.7 اعتماداً على المعادلة 13-1.

ترسب مخثرات الحديد الأورثوفوسفات عبر الاتحاد مع أيون الحديد، كما هو موضَّح في المعادلة 13-3 لدى نسبة مولارية قدرها 1 إلى 1.



$$FeCl_3\, 6H_2O + PO_4^= = FePO_4\downarrow + 3Cl^- + 6H_2O \qquad \textbf{(3-13)}$$

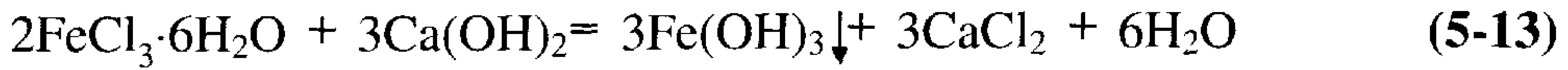
يتطلب الأمر فقط مع الألمنيوم، في التخثّر الفعلي كمية من الحديد أكبر من الكمية التي يتنبأ بها التفاعل الكيميائي. وأحد التفاعلات المنافسة هي مع القلوية الطبيعية كالآتي:



$$FeCl_3 \cdot 6H_2O + 3HCO_3^- = Fe(OH)^3\downarrow + 3CO_2 + 3Cl^- + 6H_2O \qquad \textbf{(4-13)}$$

فإن كانت مياه الصرف ذات قلوية طبيعية كافية، فتتسبب أملاح الحديد المُستخدمة من دون مساعدات تخثّر، بإزالة الفوسفور لدى نسبة جرعات Fe إلى P

تساوي 1.8 إلى 1.0 أو أكثر. وتكافئ هذه الإزالة استخدام 150 mg/l من الكلوريد الحديديك الصناعي لمعالجة مياه صرف تحوي 10 mg/l من الــ P. وحيث إن تفاعل كلوريد الحديديك مع القلويّة الطبيعية بطيء نسبياً، فإنّ الجير أو بعض القلويّة قد يستعمل لرفع الــ pH والتزويد بأيون الهيدروكسيل للتخثّر، كالآتي:



$$2FeCl_3 \cdot 6H_2O + 3Ca(OH)_2 = 3Fe(OH)_3\downarrow + 3CaCl_2 + 6H_2O \qquad \textbf{(5-13)}$$

تشكّل كبريتات الحديدوز أيضاً راسب فوسفات لدى نسبة مولارية للــ Fe إلى P للتخثّر تبلغ 1 إلى 1 مشابهة لتلك التي لأملاح الحديديك.

إن أملاح الحديد المتوفرة تجارياً هي كلوريد الحديديك، وكبريتات الحديدوز، ومحلول صرف حمضي ناتج من صناعة الفولاذ. وهذا الأخير هو أقلّها كلفةً وأكثر المصادر شيوعاً لمخثِّرات الحديد المُستخدمة في معالجة مياه الصرف في المناطق الصناعية. يتباين تركيب المحلول الحمضي تبعاً لعملية المعالجة المعدنية. إن كبريتات الحديدوز الناتجة عن المعالجة بحمض الكبريتيك، وكلوريد الحديدوز الناتج من المعالجة بحمض كلور الماء (حمض هيدروكلوريك)، هما محلولا الصرف الشائعان الناتجان من الإعداد النهائي في تعدين المعادن. تحتوى محاليل الصرف على محتوى حديد يتراوح من 5 إلى 10% وحمض حر يتراوح بين حد أدنى قدره 0.5% وحدّ أعلى قدره 15%. تتضمن الإعدادات قبل الاستخدام معادلة المحلول وضبط الــ pH وذلك بإضافة الجير أو هيدروكسيد الصوديوم.

تدمج المعالجة الكيميائية – الحيوية الترسيب الكيميائي للفوسفور مع إزالة حيوية للمادة العضوية تُضاف الشبّة أو أملاح الحديد قبل الترويق الأولي، مباشرة إلى العملية الحيوية، أو قبل الترويق النهائي. وفي مسح شمل 83 محطة معالجة باستخدام أملاح معدنية لإزالة الفوسفور في وسكنسون، ميتشغان، أوهايو، إنديانا، بنسلفانيا وفرجينيا، أضيفت 32 مادة كيميائية إلى المروّقات الأولية، 24 منها قبل العملية الحيوية، و27 منها إلى المروّق النهائي. ومن أجل كافة نقاط الاستخدام،

كانت كمية المادة العضوية المُضافة تقريباً نفسها وذلك للوصول إلى إزالة محدّدة للفوسفور. تحسِّن الإضافة إلى المروّق الأولي إزالة كل من المواد الصلبة المعلَّقة والـــ BOD، ما يتسبَّب بإزالة 75% من المواد الصلبة و50% من الـــ BOD. وعلى ذلك تزداد طاقات المعالجة التالية، وتميل إلى أن تكون مقيَّدة هيدروليكياً أكثر من كونها مقيَّدة بالـــ BOD. تضيف الشبّة وكبريتات الحديديك، جزيئات كبريتات إلى مياه الصرف، وستزيد الكبريتات في التراكيز العالية، مشاكلَ التآكل والرائحة المترافقة مع كبريت الهيدروجين المتشكِّل لدى ظروف لاهوائية في المثخِّنات والهاضمات.

وفي تهوية الحمأة المنشِّطة، يمكن أن يُضاف المخثر إلى المحلول الممزوج بالتهوية. وبالرغم من أن الكدرة الكيميائية – الحيوية الناتجة ذات ابتدائي أقل، إلا أن كفاءة إزالة الـــ BOD لا تتأثر عكسياً بذلك. وفي الترشيح الحمضي أو في المماسّات الحيوية الدوّارة، يُمزج المخثر عادةً مع التدفق الخارج من العملية وذلك قبل الترسيب النهائي فوراً. وتبعاً لجرعة المخثِّر، فإن تشكُّل المواد الصلبة في الحمأة عبر معالجة كيميائية – حيوية يكون عادةً أكثر بمقدار يتراوح بين 20 و 60%من تشكّل المواد الصلبة من دون إضافات كيميائية. وهذه الزيادة في إنتاج المواد الصلبة ناتجة جزئياً من الترويق المُحسِّن للتدفق الخارج بسبب التخثُّر الكيميائي. ومن جانب آخر، يزداد حجم الحمأة بنسبة ضئيلة وذلك بسبب الكثافة الأعلى للحمأة الكيمياحيوية. يتطلب الأمر إضافة شبّة وترشيحاً، وذلك إن تطلب الأمر تراكيز فوسفور أقل من 1.0 mg/l. إن الهدف من هذا الترشيح ليس بالضرورة إزالة راسب الفوسفور الإضافي، بل إزالة الفوسفور المُمتز والمُصطاد في الكدرة الحيوية، وتُستخدم الشبّة كمساعد مرشّح.

مثال 13-2

استخدمت الشبّة في خزان الترسيب الرئيس في نظام حمأة منشِّطة تقليدي (مخططه في الشكل 13-12) وذلك لتخفيض الفوسفور الإجمالي في التدفق الخارج

إلى 1.3 mg/l. بلغت جرعة الشبّة التجارية 90 mg/l. احسب جرعة الشبّة بتعابير، النسبة الوزنية للشبّة المُستخدمة لمحتوى الفوسفور في مياه الصرف، والنسبة المولارية للشبّة إلى الفوسفور. احسب مقدار تشكُّل المواد الصلبة في الحمأة بافتراض الآتي: إضافة الشبّة إلى المروّق الأولي تزيد من إزالة المواد الصلبة إلى 75% ومن إزالة BOD إلى 55%. بلغت نسبة (*F/M*) 0.4، ومتوسط التدفق الخارج من المحطة 12 mg/l من الـــ BOD و10 mg/l من المواد الصلبة المعلّقة. كم ازداد إنتاج الحمأة مقارنةً بالمعالجة التقليدية؟

الحل

إن نسب الشبّة إلى الفوسفور والألمنيوم إلى الفوسفور:

جرعة الشبّة = 90 mg/l

جرعة الألمنيوم: $90 \frac{2 . 27}{600} = 8.1$ mg/l

الفوسفور في التدفق الداخل الأولي = 7.35 mg/l (متضمناً إعادة التدوير المبينة في الشكل 13-6)

الشبّة المُستخدمة/الفوسفور في مياه الصرف : 12.2 mg/l = $\frac{90}{7.35}$

النسبة المولارية للـــ Al إلى P = $1.1 = \frac{8.1}{7.35}$

إنتاج المواد الصلبة في الحمأة:

SS المُزالة في الأولي : 0.75 . 240 = 180 mg/l

قيمة *K* من الشكل 11-50 تساوي 0.5 من أجل (*F/M*) = 0.4 وقيمة BOD في التدفق الخارج الأولي تساوي 90 mg/l (متبقية 45% . 200 mg/l)، ولذلك فإن الـــ SS في حمأة الصرف المنشطة 36 mg/l = 90 . 0.4 ، استناداً إلى تدفق خارج ذي 30 mg/l من SS.

وإزالة إضافية للـــ BOD ستتسبب بـــ 4 mg/l = (20 - 30)0.4 إضافية من SS وسيمسك ترويق نهائي محسن مقداراً إضافياً قدره: 10 mg/l = 20 - 30

وستكون الـــ SS الإجمالية في حمأة الصرف المنشطة:

36+4+10 = 50 mg/l

إن محتوى الـــ P العضوي في حمأة الصرف المنشطة يساوي = 50 . 0.02 1.0 mg/l

ويساوي P في التدفق الخارج النهائي 1.3 mg/l كإجمالي.

ونظراً إلى أن الأورثو P غير كاف لإيجاد 1.0 mg في الحمأة، لذا أُخذ P إضافي من محتوى الـــ P العضوي. واعتماداً على بيانات محطات فعلية، بلغ الأورثو P في التدفق الخارج 0.3 mg/l، مخلّفاً 1.0 mg/l من الـــ P العضوي في التدفق الخارج. لقد كان الـــ P اللاعضوي في التدفق الخارج الأولي 0.9 mg/l، و1.7 mg/l عضوي و2.6 mg/l إجمالي.

كما بلغ الفوسفور المُزال في المواد الصلبة للمروّق الأولي: = 0.009 . 180 1.6 mg/l

والفوسفور المُزال بواسطة الترسيب بالشبّة هو فوسفور التدفق الداخل الأولي مطروحاً منه فوسفور التدفق الخارج الأولي ومطروحاً منه أيضاً الـــ P المرتبط مع المواد الصلبة الحيوية وهو بالتالي يساوي:

7.35 – 2.6 – 1.6 = 3.15 mg/l

ومن المعادلة 13-1،

$$\text{راسب } ALPO_4 = \frac{(\text{الفوسفور الراسب})(\text{الوزن الجزيئي لـــ } AlPO_4)}{\text{الوزن الجزيئي لـــ } P}$$

$$= \frac{(3.15)(122)}{31} = 12 \text{ mg/l}$$

من المعادلة 13-1، فإن المواد غير المستعملة

$$\text{الشبّة} = \frac{\text{الشبة}}{\text{الجرعة}} - \frac{(\text{الوزن الجزيئي لـ } AlPO_4)(\text{الفوسفور المترسب})}{2 \times (\text{الوزن الجزيئي لـ } P)}$$

$$90\ mg/l - (3.15)(600) \neq (2 \cdot 31) = 59.5\ mg/l$$

تتفاعل الشبّة التي لم تستعمل في ترسيب الفوسفور مع القلوية الطبيعية لترسيب $Al(OH)_3$، ومن المعادلة 13-2 نجد أن

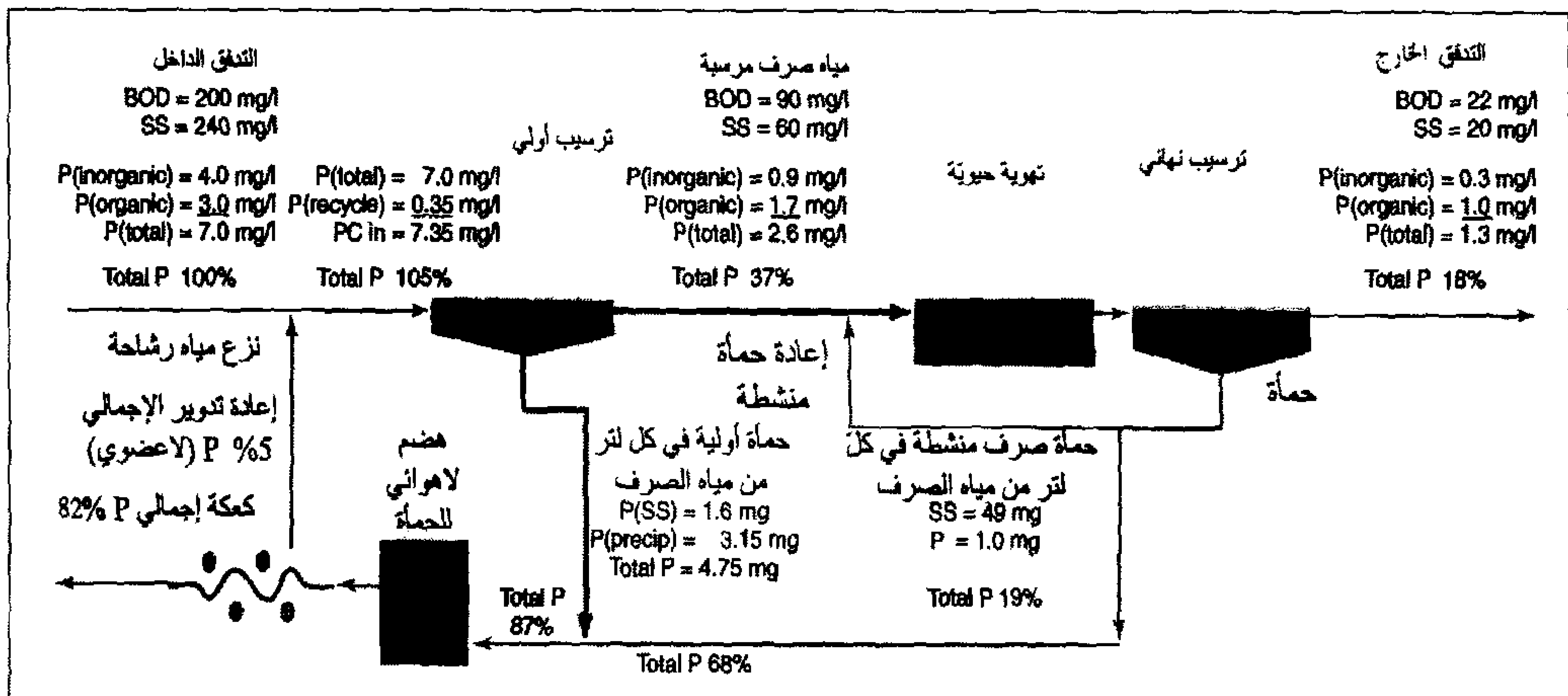
$$AL(OH)_3\ \text{راسب} = \frac{(\text{الوزن الجزيئي لـ } 2 \cdot Al(OH)_3)(\text{الشبة غير مستعملة})}{(\text{الوزن الجزيئي للشبة})}$$

$$= \frac{(59.5)(2 \cdot 78)}{600} = 15\ mg/l$$

يساوي إنتاج المواد الصلبة الكليّة في الحمأة مجموع إزالة الـــ SS في الترسيب الأولي، والـــ SS في حمأة الصرف المنشطة، وفي راسبي الـــ $AlPO_4$ والـــ $Al(OH)_3$. لذلك فإن إنتاج المواد الصلبة في لتر من مياه الصرف يساوي

في انسياب التدفق الداخل 180 + 55 + 3 + 15 = 253 mg/l

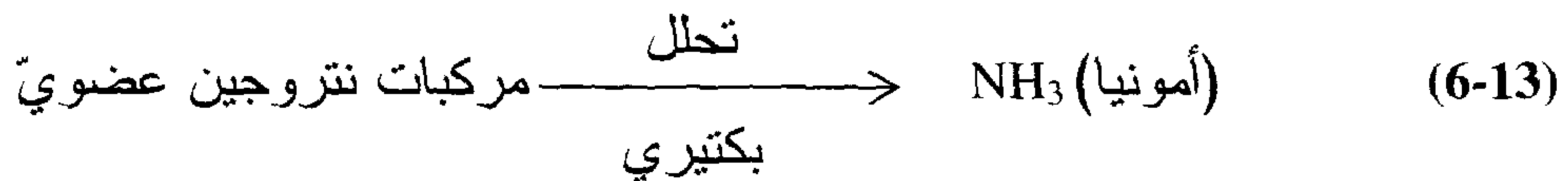
الزيادة في إنتاج المواد الصلبة في الحمأة: إن إنتاج المواد الصلبة عبر المعالجة الكيميائية – الحيوية بالنسبة إلى المعالجة التقليدية للحمأة المنشطة كما هو موضّح في الشكل 13-12 يساوي 68 mg/l = 185 – 253 من المياه المعالجة، والتي تمثّل زيادة قدرها 37%.



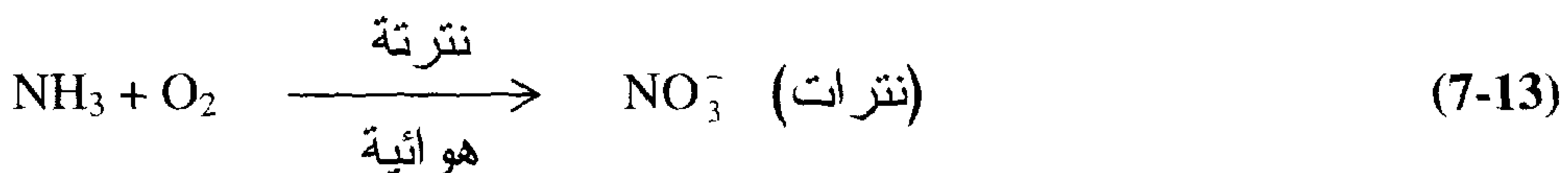
شكل 13-12: نتائج المثال 13-2، مخطط تتبع فوسفور مياه الصرف عبر محطة معالجة تُستخدم إضافة شبّة كيميائيّة لإزالة الفوسفور. من أصل 100% فوسفور التدفق الداخل، 18% منه موجود في مياه الصرف المعالجة، 82% في المواد الصلبة للحمأة الكيميائية المهضومة المنزوع ماؤها

13-7 النتروجين في مياه الصرف

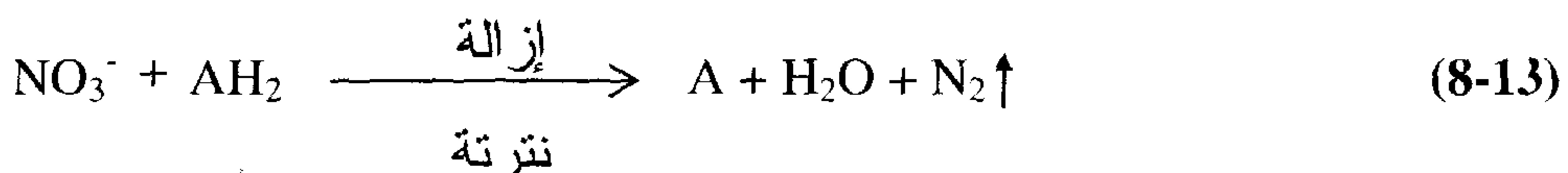
إن الأشكال الشائعة للنتروجين هي النتروجين العضوي، والأمونيا، والنترات والنتريت والنتروجين الغازي. يحرِّر تحلُّل المادة العضوية النتروجينية، الأمونيا إلى المحاليل، معادلة 13-6. وتحت ظروف هوائية، تؤكسد البكتيريا المنترتة الأمونيا إلى نتريت ومن ثم إلى نترات. تحدث النترتة البكتيرية معادلة 13-8، تحت ظروف لاهوائية أو لاأكسجينية عند تأكسد المادة العضوية (AH_2) وتستخدم النترات كمتلق للهيدروجين، محرراً غاز النتروجين.



$$\text{مركبات نتروجين عضويّ} \xrightarrow[\text{بكتيري}]{\text{تحلل}} NH_3\ (\text{أمونيا}) \qquad \textbf{(6-13)}$$



$$NH_3 + O_2 \xrightarrow[\text{هوائية}]{\text{نترتة}} NO_3^-\ (\text{نترات}) \qquad \textbf{(7-13)}$$



$$NO_3^- + AH_2 \xrightarrow[\text{نترتة}]{\text{إزالة}} A + H_2O + N_2\uparrow \qquad \textbf{(8-13)}$$

ينتج النتروجين في مياه الصرف من المخرجات البشرية، والقمامة الأرضية، والنفايات الصناعية، وبخاصة من معالجة الأغذية. إن المصدر الأكبر للنتروجين في مياه الصرف متأتٍ من المادة البرازية البشرية. يوجد النتروجين العضوي في البروتينات، والأمينات، والأحماض النووية، والببتيدات، والأحماض الأمينية وفي مكوِّنات عضوية أخرى موجودة في المادة البرازية. تنتج الأمونيا من التمعدن البكتيري للبروتين واليوريا (المركب الأساسي في البول)، ومن زيادة التركيز نتيجة النشاط الحيوي في نظام المجارير. وعادةً لا توجد النترات والنتريت في مياه الصرف الخام بسبب الافتقار إلى الأكسجين الحر اللازم للنترتة. ويمكن أن تأتي مساهمة النترات من الصرف الصناعي أو من مياه الشرب ذات التراكيز العالية بالنترات.

إن 40% تقريباً من نتروجين التدفق الداخل هو في صورة أمونيا، و60% مرتبط بالمادة العضوية مع كمية مهملة من النترات. تقع مساهمة النتروجين الإجمالية بين 8 و12 lb/capita/year (4 إلى 6 kg/person.y) ويبلغ متوسط التركيز في مياه الصرف المحليّة 35 mg/l.

تنتج الأمونيا من تفكك المادة العضوية ويمكن إزالتها عبر معالجة حيوية أو كيميائية. وتوليد الأمونيا هي عملية تحويل النتروجين العضوي إلى أمونيا عبر النشاط الحيوي تحت ظروف لاهوائية. ويوجد هذا النشاط في المجارير وفي الهضم اللاهوائي. تُستخدم الأمونيا لإنتاج الخلايا في النمو الحيوي. وتحت ظروف هوائية مشدّدة، يمكن أن تُستخدم عملية النترتة لتحويل الأمونيا حيوياً إلى نتريت ومن ثم إلى نترات. وتحت ظروف لاأكسجينية (مفتقرة إلى أكسجين ذوّاب)، يمكن أن تتحوّل النترات حيوياً إلى غاز نتروجين وتزال من ثم من مياه الصرف باستخدام عملية إزالة النترتة. يمكن للأمونيا أن تُزال كيميائياً عبر نزع غاز الأمونيا وذلك بعد رفع pH مياه الصرف إلى ما فوق 10. لقد أُنشئت مرافق كاملة في ليك تاهو ومصنع الماء رقم 21، غير أن لم يعد قيد الاستعمال نظراً إلى الكلفة العالية

لصيانته والمترافقة مع عمليات نزع الهواء. يمكن أن تُزال الأمونيا أيضاً باستخدام كلَورَة نقطة الانفصال، وذلك لتحويل الأمونيا إلى غاز نتروجين. وتشغيل هذه العملية مُكلف ولكن يمكن أن تُجهّز كدعم للنترتة الحيوية. وفي الأنظمة الصغيرة، يمكن أن تُستخدم صمغيات التبادل الأيوني لمبادلة أيونات الأمونيوم بكاتيونات أخرى أو لمبادلة النترات بأنيونات أخرى. يزيل التناضح العكسي وعمليات غشائية أخرى الجزيئات العضوية، والأمونيا والنترات فيزيائياً.

إزالة النتروجين بالمعالجة التقليديّة

يظهر الجدول 13-2 مركبات النتروجين في مياه الصرف الصحي العادية. وحيث إن معظم النتروجين بأشكال عضوية مُذابة وغروية، فإن الكمية المُزالة بالترسيب الأولي لا تتعدى 15%. واعتماداً على القيم المُجدولة، فإن امتصاص النتروجين في المعالجة الحيوية اللاحقة يبلغ 10% إضافية فقط. وعموماً، فإن كمية النتروجين في فائض الكدرة الحيوية الناتجة من معالجة حمأة منشِّطة لمياه الصرف تساوي حوالى 4% من الـــ BOD المستعمل. وبتخفيض إجمالي قدره 25% فقط، فسيحتوي التدفق الخارج 26 mg/l من 35 mg/l الأولية. ويكون منها 2 mg/l تقريباً كنتروجين عضوي مرتبط بالمواد الصلبة المعلّقة للتدفق الخارج. والـــ 24 mg/l المتبقية تكون بصورة أمونيا، إلا إذا حدثت نترتة خلال التهوية. ويحتمل جداً أن يتأكسد جزء من النتروجين إلى نترات عبر معالجة حمأة منشِّطة تتعامل مع مياه صرف دافئة لدى حمولة BOD منخفضة.

مثال 13-3

باستخدام القيم المعطاة في الجدول 13-2، قم بتقَفّي النتروجين العضوي واللاعضوي عبر محطة معالجة تقليدية لحمأة منشطة. ميِّز النتروجين الإجمالي كنسبة مئوية من فوسفور التدفق الداخل الذي يساوي 100%. افترض أن إزالة المروّق الأولي تبلغ 35% من الـــ BOD و50% من المواد الصلبة بمحتوى 4.2%

من النتروجين العضوي. يعمل نظام حمأة الصرف المنشطة بنسبة (*F/M*) قدرها 0.40 وتحتوي على 6.2% من النتروجين في حمأة الصرف المنشّطة. يمكن للحمأة الخام أن تحرِّر بعض النتروجين المُستخلص من مياه الصرف. وفي مخطط المعالجة هذه، تتمّ موازنة الحمأة بهضم لاهوائي، وتُعاد الأمونيا المتحرِّرة من تحلّل المواد الصلبة في الحمأة، إلى التدفق الداخل لمحطة المعالجة ضمن الرشاحة. وبافتراض أن 40% من النتروجين العضوي في الحمأة سيتحوّل إلى أمونيا، وأن 10% من الـــ 25% الأصلية قد أُعيد تدويرها إلى محطة المعالجة. استخدم إعادة تدوير قدرها 10% من نتروجين التدفق الداخل كأمونيا (نتروجين لاعضوي).

الحل

باستخدام قيم التدفق الداخل (الخام) من الجدول 13-2، فإن SS التدفق الداخل = 240 mg/l، BOD = 200 mg/l، النتروجين اللاعضوي يساوي 22 mg/l (كلّه بصورة أمونيا)، والنتروجين العضوي يساوي 13 mg/l. فإن حُدّدت مساهمة إعادة تدوير النتروجين اللاعضوي بـــ 10% من نتروجين التدفق الداخل أو ما يُعادل 3.5 mg/l، فإن التدفق الداخل للمروّق الأولي يتكون من N (أمونيا) = 25.5 mg/l وN (عضوي) = 13 mg/l، لمجموع قدره 38.5 mg/l.

ولدى إزالة SS تبلغ 50%، فإن المواد الصلبة الأولية تبلغ 120 mg/l في انسياب التدفق الداخل. ويساوي النتروجين العضوي في الحمأة الأولية

من النتروجين العضوي $0.042 \,.\, 120 = 5.0$ mg

يتكون التدفق الخارج الأولي من SS = 120 mg/l، BOD = 130 mg/l، يبقى N اللاعضوي بلا تغيير لدى قيمة 25.5 mg/l، تناقصN العضوي إلى 8 mg/l.

من الشكل 11-50 ولدى (*F/M*) قدرها 0.40، ستساوى *K* 0.50.

من المواد الصلبة في الحمأة $W_s = 0.50 \,.\, 130 = 65$ mg

ومحتوى النتروجين للمواد الصلبة في المواد الصلبة للحمأة يساوي

من النتروجين العضوي $0.062 . 65 = 4$ mg

ويساوي النتروجين العضوي للتدفق الخارج للمحطة

$0.062 . 30 = 2$ mg of SS

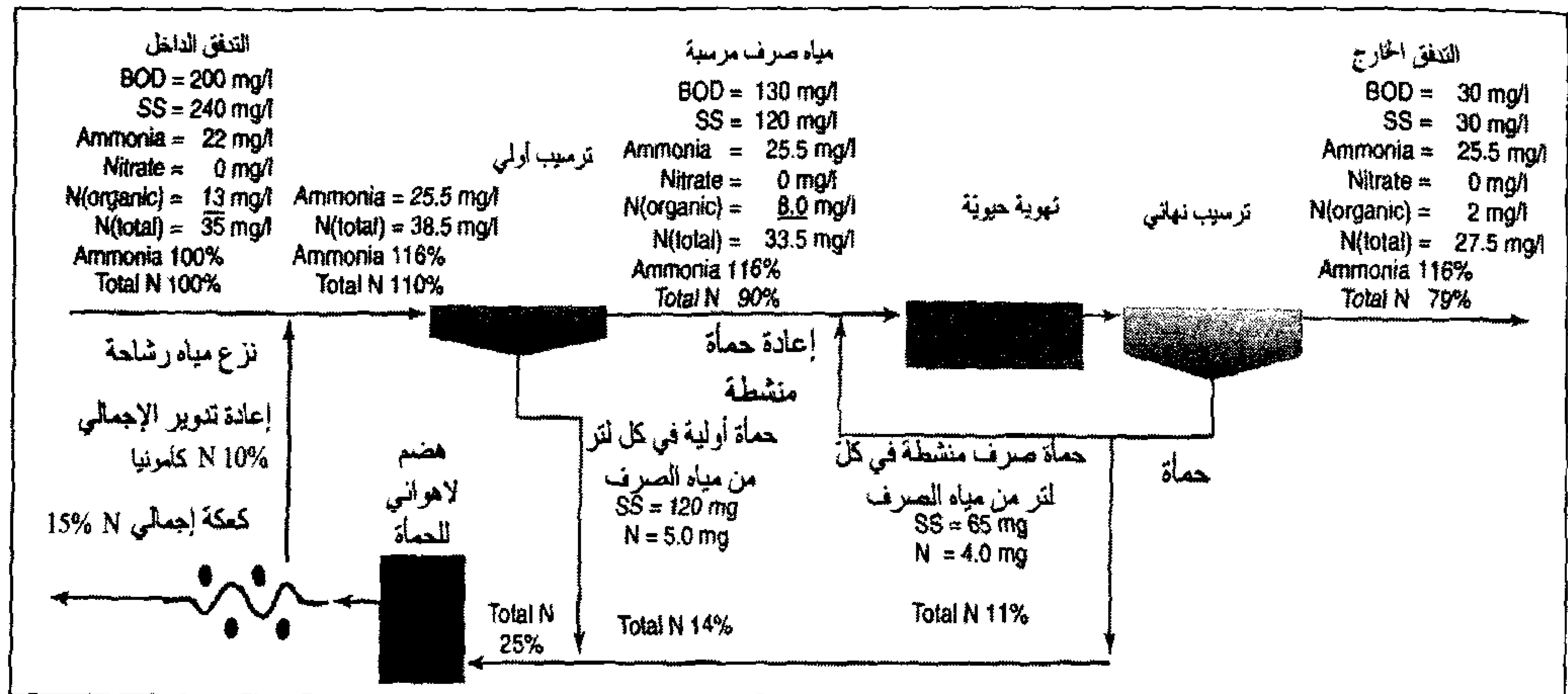
ويبقى النتروجين اللاعضوي في المحلول عبر كافة عمليات المعالجة.

ومن هذه الحسابات، فإنه يمكن حساب موازنة قيم BOD، SS، وN وقد تم عرضها في الشكل 13-13.

فإن حددت قيمة تركيز النتروجين الإجمالية في التدفق الداخل بـــ 100%، فإن الإزالة ستكون بحدود 14% في التدفق الأولي و11% في التدفق الثانوي، ما ينتج منه تصريف تدفق خارج قدره 79% من نتروجين التدفق الداخل. أما النتروجين اللاعضوي في التدفق الداخل فهو يشكِّل أمونيا ويبقى في المحلول عبر المحطة. وتبعاً للتغيرات في محتوى النتروجين في مياه الصرف ولطرائق معالجة الماء والحمأة، فإن إزالة النتروجين بأنظمة المعالجة الحيوية التقليدية ستتراوح من صفر إلى 40%.

13-8 النترتة الحيوية وإزالة النترتة

تجري نترتة مياه الصرف عندما يكون تسبّب الأمونيا في التدفق الخارج تلوّثاً في الممرات المائية المستقبلة. لا تزيل العملية النتروجين ولكنها تحوّله إلى شكل نترات (معادلة 13-7). تتضمن النترتة – إزالة النترتة، والتي تخفف محتوى النتروجين الإجمالي، تحويل النترات إلى نتروجين غازيّ (13-8).



شكل 13-13: مخطط تتبع أمونيا ونتروجين مياه الصرف عبر محطة معالجة تقليدية افتراضية. من أصل 100% أمونيا التدفق الداخل، 79% منه موجود في مياه الصرف المعالجة، و15% في المواد الصلبة للحمأة المهضومة المنزوع ماؤها. تعليقات الشكل من نتائج المثال 13-3

النترتة

النترتة هي عملية مستقلة عادةً تلي المعالجة الحيوية التقليدية. وبالرغم من أن النترتة ممكنة الإنجاز بالترافق مع إزالة المادة العضوية في وحدة تهوية مديدة أحادية المرحلة في مناخ دافئ، إلا أن معالجة ثنائية المرحلة ضرورية لتشغيل موثوق لدى درجة حرارة مخفضة لمياه الصرف. تزيل المعالجة الحيوية التقليدية BOD، من دون أكسدة نتروجين الأمونيا، لإنتاج تدفق خارج مناسب للنترتة.

يوفر محتوى الأمونيا المرتفع ومحتوى BOD المنخفض احتمال نمو أكبر لمسببات النترتة بالنسبة إلى غيرية التغذية. ويسمح هذا الأمر بتشغيل عملية النترتة بعمر حمأة أطول لتعديل درجات حرارة أخفض، وذلك لضمان أن يكون معدّل نمو بكتيريا النترتة سريعاً إلى حد كاف يسمح بتعويض تلك التي فُقدت عبر الغسيل في التدفق الخارج للمحطة. وبالرغم من أن ترشيح الأوساط الصنعية في الأبراج الحيوية يمكن أن ينجز النترتة، إلا أن النظام الأكثر وثوقية هو تهوية نمو معلّق.

إن الشكل 13-14 هو مخطط العمليات الشائع لنترتة تلي المعالجة الحيوية لمياه الصرف لخفض محتوى المادة العضوية. وبعد أن تؤكسد البكتيريا الأمونيا في

خزان التهوية، فإن الحمأة المنشطة الحاوية على أعدادٍ كبيرةٍ من مسبِّبات النترتة تترسَّب في المروّق النهائي لإعادتها من ثم إلى خزان التهوية. يمكن للحمأة أن تطرح، إن كان ذلك ضرورياً، وذلك لإزالة النمو البكتيري الفائض من النظام. ونظراً إلى كون معدّل أكسدة الأمونيا خطّي تقريباً، فإن الخزان سيأخذ شكل انسياب سادّ وذلك لخفض انقطاع الانسياب إلى أدنى حد ممكن. إن المتحوّلات المهمة في حركية النترتة البكتيرية هي درجة الحرارة، وpH، وتركيز الأكسجين المُذاب. يتناقص معدّل التفاعل على نحو ملحوظ لدى درجات حرارة منخفضة، وتكون درجة الحرارة 8°C هي الدرجة الدنيا المناسبة. وتكون pH النموذجية قريبة من 8.4، ويجب أن يكون مستوى الأكسجين المُذاب أكبر من 1.0 mg/l.

تحطم النترتة الحيوية القلوية، والتي يمكنها التسبب بخفض قيمة pH عند معالجة مياه صرف ذات عسرة متوسطة أو عندما يُستخدم ترسيب الشبّة لخفض محتوى الفوسفور في العمليات السابقة. ونظرياً فإن 7.2 باوند من القلوية تُدمَّر مقابل كل باوند من نتروجين الأمونيا تتم أكسدتها إلى نترات:



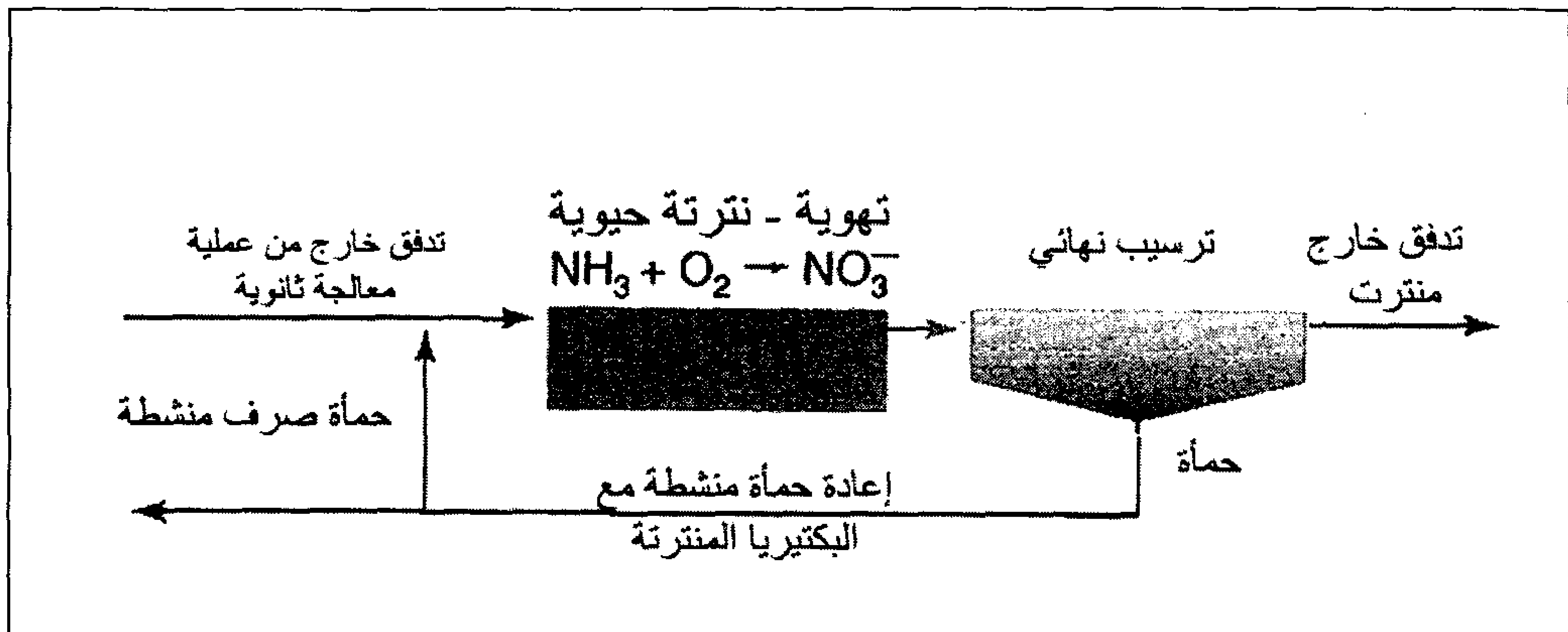
$$2NH_4HCO_3 + 4O_2 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(NO_3)_2 + 4CO_2 + 6H_2O \quad \textbf{(9-13)}$$

يتسبب تحطيم القلوية بجعل مياه الصرف عدوانية، فتهاجم ملاط سطوح البيتون وتتلف معادن الحديدوز، ومثال ذلك آليات المروّق. ويمكن استخدام الجير ورماد الصودا للإبقاء على القلوية. وبالرغم من أن الصفائح الفولاذية المُستخدمة في سدود المروّقات الأولية والثانوية شائعة الاستخدام، إلا أن سدود الألياف الزجاجية تُستخدم في المروّقات التي تلي النترتة بسبب البيئة العدوانية. تتم حماية الآليات الفولاذية للمروّق عادةً بأنظمة حماية كاتودية.

تتطلب نترتة 1.0 lb من الأمونيا معبَّرٌ عنها كنتروجين، 4.6 lb من الأكسجين من أجل إيجاد كل من النترات والقلوية، معادلة 9-13. ويجب أن يتضمن أكسجيناً إضافياً من أجل BOD للكربون، الأمر يحدث أيضاً في مرحلة النترتة. ويتطلب

الأمر عادةً تركيز حد أدنى من الأكسجين المُذاب لا يقل عن 2 mg/l وذلك للإقلال من النترتة في خزان الترسيب.

يمكن لإزالة نترتة حمأة مترسبة من مروّق ثانوي لحمأة منشطة، التسبب بتعويم المواد الصلبة المترسبة وتراجع أداء المروّق. يُصطاد غاز النتروجين الناتج من الحمأة في الكدرة، حيث تطفو إلى السطح، وتفلت من فوق سد التدفق الخارج. تبلغ حمولات نتروجين الأمونيا المستعملة في خزان التهوية 10 إلى lb/100 cu 20 ft/day (160 إلى $320\ g/m^3 . d$) تحت درجة حرارة مياه صرف منسجمة تبلغ 10 إلى $20^{\circ}C$ على التوالي. ولمتوسط مياه صرف عادي تمثِّل هذه القيم فترة تهوية تتراوح من 4 إلى 6 ساعات.



شكل 13-14: مخطط عمليات نترتة بواسطة تهوية نمو معلّق تلي معالجة حيوية تقليديّة

يظهر الشكل 13-15 منظراً جوياً لمجمع نترتة مدينة لاس فيغاس. لقد صُممت المعالجة لتخفيض نتروجين الأمونيا من 18 mg/l (21 mg/l نتروجين كيلدال الكلّي) إلى 0.8 mg/l لنتروجين أمونيا التدفق الخارج بمعدل انسياب يبلغ 46 mgd. يُحوّل التدفق الخارج من محطة ترشيح تقطري ثانوي لدى قناة التدفق الخارج ويُضخ إلى أحواض التهوية. تعمل أحواض التهوية لدى قيمة 2100 mg/l من MLSS بزمن احتفاظ يبلغ 4 ساعات، وبعمر حمأة يبلغ 8 أيام، وبانسياب

إعادة الحمأة يتراوح بين 50 و100%. يتم تأمين التهوية بواسطة ثلاث نافخات نابذة كهربائية إضافةً إلى اثنتين تُداران بمحركين تقدم كل منها 18300 cfm إلى موزّع فقاعات صغيرة من أجل نقل الأكسجين. يبلغ قطر المروّقات النهائية 140 ft بمعدل فائض انسياب قدره 550 gpd/sq ft. يسمح الشكل السداسي للمروّق بإنشاء جدران شائعة ويشكل نفقاً يحتوي على المضخات، والأنابيب، والمعدات الكهربائية. يتمّ تثخين حمأة الصرف، والمختزنة في خزّانات مهوّاة، في نابذات للوصول إلى نسبة 6% وذلك قبل مزجها مع الحمآت الأولية والثانوية من أجل الهضم اللاهوائي. يُستعاض عن القلوية التي فقدت في أثناء إزالة الفوسفور باستخدام الشبّة في المروّقات الأولية، برماد الصودا لقلوية دنيا قدرها 100 mg/l.

مثال 13-4

تمّت زيادة عمر حمأة في حوض التهوية لنظام تقليديّ لحمأة منشّطة، كما زيدَ مقدار المواد الصلبة المعلّقة فيها، (موضح في الشكل 13-13)، وذلك لتخفيض الأمونيا في التدفق الخارج إلى 2.0 mg/l احسب الإنتاج المحتمل للمواد الصلبة في الحمأة بافتراض أن نسبة (*F/M*) تساوي 0.40. يبلغ متوسط BOD في التدفق الخارج من المحطة 22 mg/l، ومحتوى المواد الصلبة المعلّقة 20 mg/l. ما مقدار زيادة إنتاج الحمأة مقارنةً بمحطة تقليدية؟

الحل

باستخدام قيم التدفق الداخل (الخام) من الجدول 13-2، فإن SS في التدفق الداخل = 240 mg/l، BOD = 200 mg/l، والنتروجين اللاعضوي يساوي 22 mg/l (وكلها بصورة أمونيا)، والنتروجين العضوي يساوي 13 mg/l. ولدى إزالة SS بنسبة 50%، ستكون المواد الصلبة الأولية 120 mg/l من انسياب التدفق الداخل. والنتروجين العضوي في الحمأة الأولية سيساوي:

0.042 . 120 = 5.0 mg من النتروجين العضوي

يتكوّن التدفق الخارج الأولي من SS = 120 mg/l، وBOD = 130 mg/l، تبقى قيمة النتروجين اللاعضوي بلا تغيير، وتنخفض قيمة النتروجين العضوي إلى 8 mg/l،

من الشكل 11-50 ولدى (*F/M*) تساوي 0.40 فإن K تساوي 0.5،

$W_s = 0.5 . 130 = 65$ mg من مواد صلبة في الحمأة

تُمثِّل إزالة الـ BOD المتزايدة إضافة قدرها 4 mg = (22 – 30) 0.5، ويمثل الإمساك المتزايد بالمواد الصلبة 10 mg = 20 - 30 لإجمالي قدره 79 mg.

يبلغ محتوى النتروجين في المواد الصلبة ضمن المواد الصلبة للحمأة

0.062 . 79 = 5 mg من النتروجين العضوي

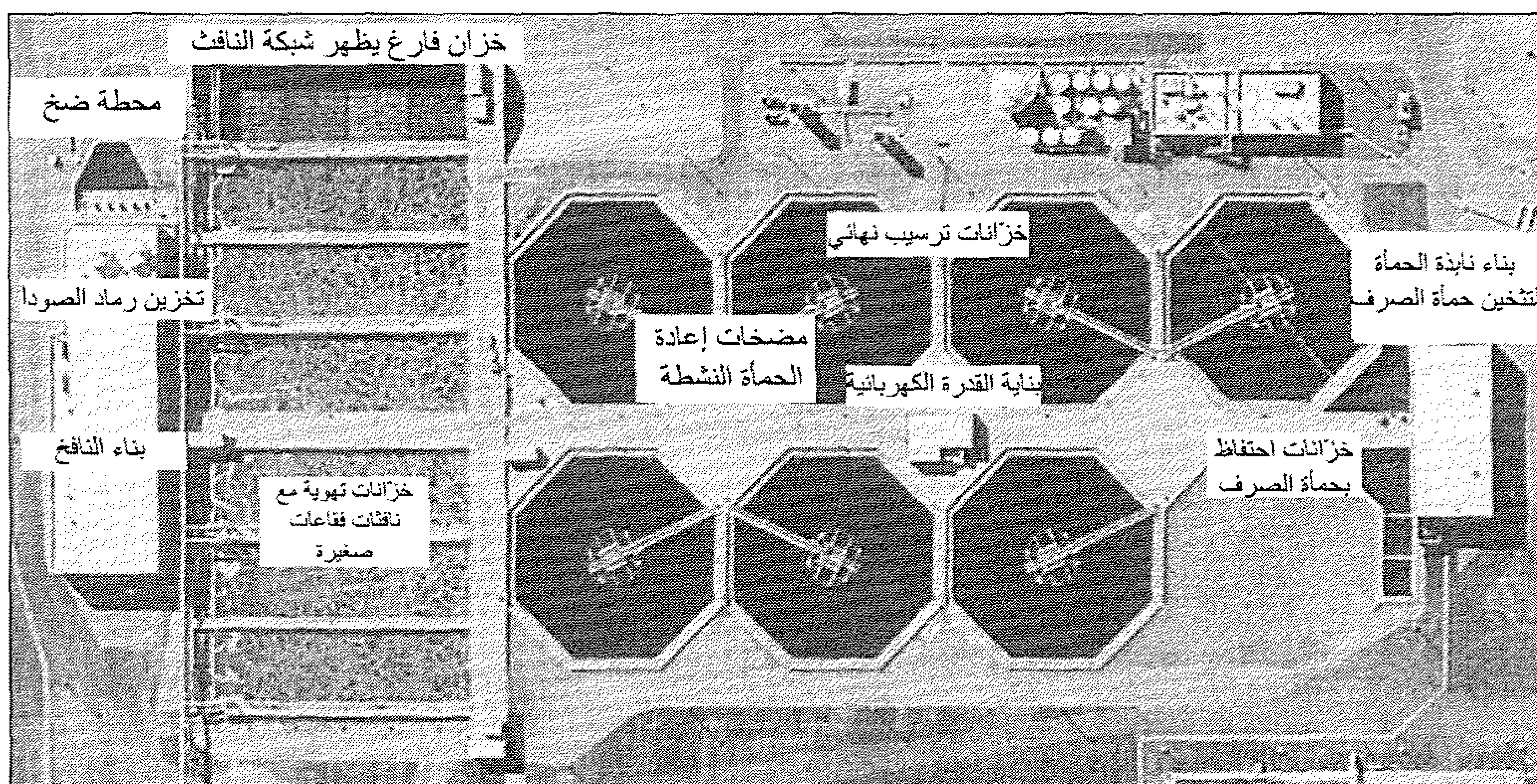
ويبلغ النتروجين الإجمالي في التدفق الخارج للمحطة 5 - 33.5، أو 28.5 mg/l. ويساوي النتروجين العضوي في التدفق الخارج للمحطة 20 mg/l . 0.062 SS = 1.2 mg. تبلغ كمية أمونيا التدفق الخارج 2.0 mg/l، ما يسبب تحويل 28.5 mg/l من الأمونيا إلى نترات. يبلغ الإنتاج الكلّي للمواد الصلبة 199 = 79 + 120 mg، أو مقداراً يزيد 14 mg أكثر على نظيره من دون نترتة، كما هو موضّح في الشكل 13-13. يبقى النتروجين اللاعضوي في المحلول عبر كافة عمليات المعالجة.

ومن هذه الحسابات فإنه يمكن حساب موازنة قيم الـ BOD، SS، وN، وعرضها في الشكل 13-16. وإذا حددت قيمة تركيز النتروجين الإجمالي للتدفق الداخل بـ 100%، فإن الإزالة ستبلغ 14% في الأولي و14% في الثانوي، الأمر الذي ينتج منه طرح تدفق خارج قدره 82% من نتروجين التدفق الداخل. غير أن 25 mg/l من الأمونيا تحوّلت إلى نترات، وبالتالي تنخفض سميّة التدفق الخارج.

إزالة النترتة

تتسب النترتة بخفض سميّة أمونيا التدفق الخارج، لكنها تحرر تراكيز أعلى من النترات، والتي هي في الواقع ملوّثة للمياه الجوفية. إن إزالة النترات عملية

تقوم باختزال النترات إلى غاز نتروجين باستخدام بكتيريا غيرية التغذية، وبالتالي تزيل النترات من التدفق الخارج للمحطة. تتضمن الفوائد الإضافية استرداد 2.86 lb من الأكسجين لكل باوند من نتروجين النترات الذي تمّ اختزاله واسترداد 3.0 lb من القلوية لكل باوند من نتروجين النترات الذي تم اختزاله. يتطلب الأمر مصدراً للكربون، في AH_2 (المعادلة 13-8) للتصرّف كمانح هيدروجين ولتزويد الكربون للتركيب الحيوي. وبالرغم من أن أيّ مادة عضوية قابلة للتحلّل حيوياً، يمكن أن تخدِم كمصدر للكربون، إلا أن الميثانول شائعُ الاستخدام، وذلك بسبب توفُّره وسهولة استخدامه ولعدم تركه أيّ BOD متبقي في معالجة التدفق الخارج. ومثل كل المصادر الكيميائية للكربون، فالميثانول باهظ الثمن أيضاً. وفي الواقع فإن الميثانول يجعل من الاستعمال الواسع لعملية النترتة هذه أمراً غير واقعيٍّ وغير عمليٍّ في معالجة مياه الصرف.



شكل 13-15: ترتيب المعالجة للنترتة بتهوية نمو معلّق. مرفق مراقبة تلوّث مياه مدينة لاس فيغاس، نيفادا. (موافقة من: مدينة لاس فيغاس، نيفادا)

التفاعل الآتي هو تفاعل النترتة بين الميثانول والنترات:



$$5CH_3OH + 6NO_3^- = 3N_2\uparrow + 5CO_2\uparrow + 7H_20 + 6OH^- \qquad \textbf{(10-13)}$$

ونظراً إلى كون التدفق الخارج لعملية النترتة يحتوي أيضاً DO ونتريت، فإن الميثانول الإجمالي المطلوب كمانح للهيدروجين في إزالة النترتة معطىً في المعادلة 13-10. إضافة إلى ذلك فإن الميثانول يستخدم كمصدر للتركيب البكتيري. واستناداً إلى أن الأمر يتطلب 30% تقريباً من ميثانول فائض للتركيب، فإن الاحتياج الكلّي للميثانول يمكن أن يُحسب باستخدام المعادلة 13-11،

$$CH_3OH= 0.7\ DO + 1.1NO_2\text{-}N + 2.0N0_3\text{-}N \qquad \textbf{(11-13)}$$

$$CH_3OH = 0.9\ DO + 1.5NO_2\text{-}N + 2.5N0_3\text{-}N \qquad \textbf{(12-13)}$$

حيث

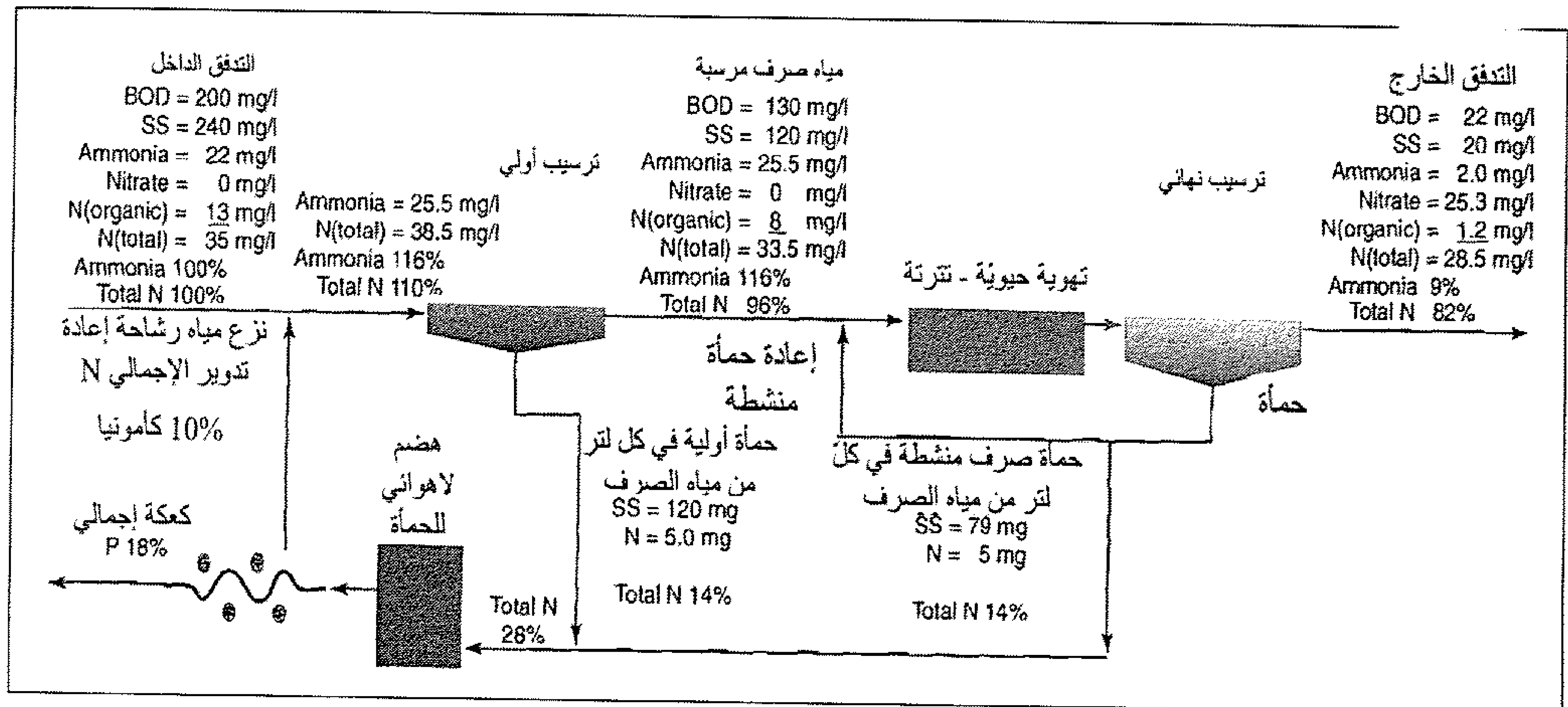
CH_3OH = ميثانول، mg/l

DO = DO، mg/l

$NO_2\text{-}N$ = نتروجين نتريت، mg/l

$N0_3\text{-}N$ = نتروجين نترات، mg/l

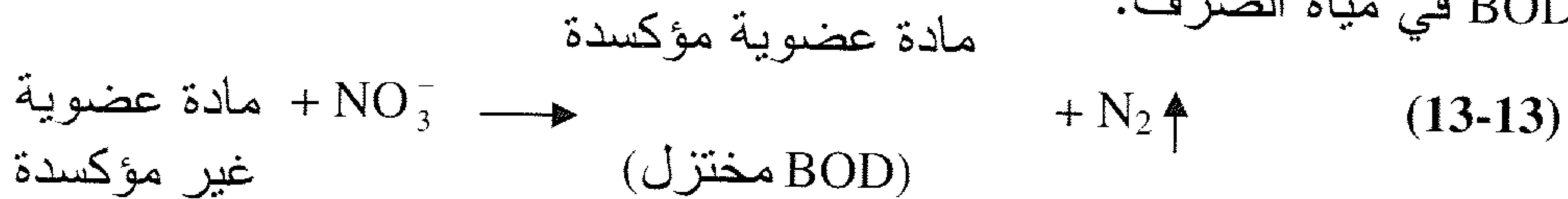
يتكون نظام إزالة النترتة الذي يوصى به من خزان انسياب سادٍّ مع خلاطات تحت الماء، يليها مروّق لفصل الحمأة وإعادتها (شكل 13-17). يجب أن يحافظ منسوب الخضّ والتحريك في حجرات إزالة النترتة على الكدرة المكروبية في المعلّق مع ضرورة مراقبتها لتجنب تهوية غير ضرورية. ونظراً إلى أن غاز النتروجين المتحرِّر من المحلول يمكن أن يجعل الكدرة الحيوية تطفو، يجب أن تقوم الحجرة الأخيرة بنزع غاز النتروجين من المحلول للوصول إلى ترويق نهائيٍّ كفؤ. ويمكن إنجاز ذلك باستخدام حجرة التهوية، والتي تتمتع أيضاً بمزية أكسجة التدفق الخارج للمحطة أو عبر نازع الغاز. يكون عادةً زمن الاحتفاظ المطلوب لإزالة نترتة مياه الصرف المحلية بحدود 2 إلى 4 ساعات، وذلك تبعاً لحمولة النترات ودرجة حرارتها. ونظراً إلى غلاء الميثانول، فإن إزالة النترتة التي تلي النترتة تتم عموماً فقط عندما تُستخدم الممرات المائية المتلقية كمصدر للتجهيز بالمياه العامة، وكان تركيز نتروجين التدفق الخارج الأقل من 10 mg/l، يتطلب مراقبة صارمة.



شكل 13-16: نتائج المثال 13-4. مخطط تتبع أمونيا ونتروجين مياه الصرف عبر محطة معالجة باستخدام النترتة لإزالة الأمونيا. من أصل 100% أمونيا التدفق الداخل، 9% منه موجود في مياه الصرف المعالجة، مع موازنة النتروجين اللاعضوي على شكل نترات

النترتة – إزالة النترتة الحيوية

يمكن استخدام المادة العضوية غير المؤكسدة كمستقبل للأكسجين (مانح هيدروجين) وذلك لتحويل النترات إلى غاز النتروجين. ويقدّم هذا التفاعل جزءاً من الـ BOD في مياه الصرف.

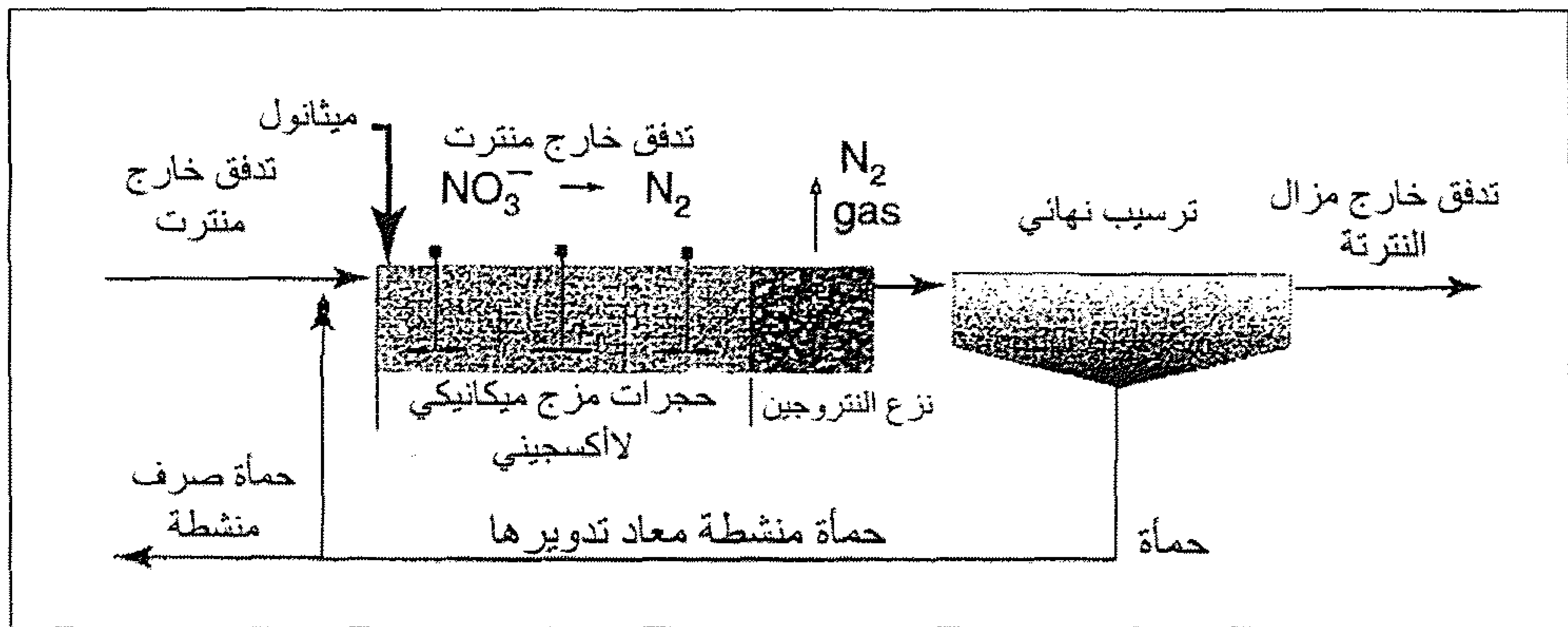


$$\text{مادة عضوية غير مؤكسدة (BOD)} + NO_3^- \longrightarrow \text{مادة عضوية مؤكسدة (BOD مختزل)} + N_2\uparrow \qquad \textbf{(13-13)}$$

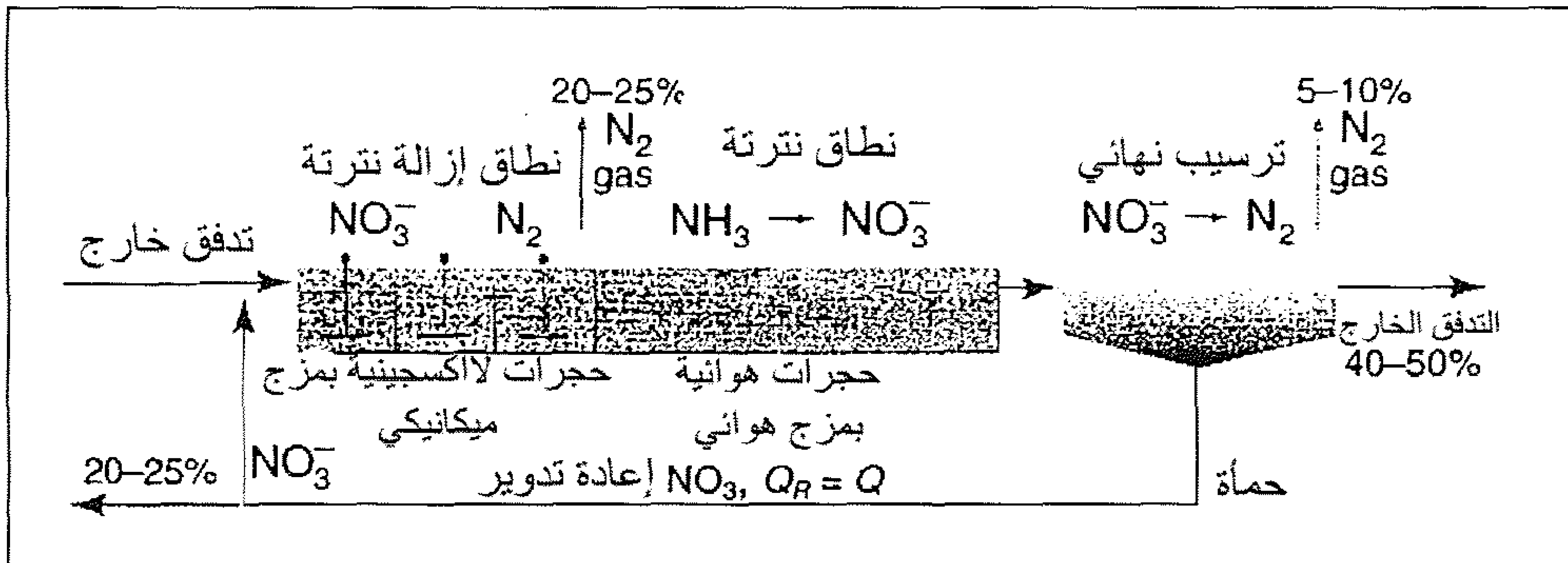
يتطلب مخطط التشغيل لعملية نترتة – إزالة نترتة، مزج المادة العضوية الخام مع مياه صرف منترتة، ومن ثم يتطلب الأمر نطاقاً هوائياً للنترتة ونطاق لاأكسجيني لإزالة النترتة (مصطلح لاأكسجيني يعني الإفتقار إلى الأكسجين المُذاب).

يمزج نظام الحمأة المنشّطة ذو الانسياب السادّ، الموضّح في الشكل 13-18 الانسياب معاد التدوير المنترت مع مياه الصرف الخام المرسَّبة (التدفق الداخل الأولي) في نطاق لاأكسجيني. وفي حجرة المزج الميكانيكي هذه، أو في النطاق

المفصول الطويل والضيق من الخزان، فإن الكدرة الحيوية في الحمأة المنشطة المعاد تدويرها، ستستخدم النترات المُعاد تدويرها كمصدر للأكسجين محررةً غاز النتروجين. وفي الحجرات التالية سيتم امتصاص الأكسجين المُذاب والممزوج أو المنتشر من قبل الكدرة الحيوية، لنترتة الأمونيا في مياه الصرف. تخفّض كلٌّ من الحجرات اللاأكسجينية والحجرات الهوائية نطاق BOD اللاأكسجيني لمياه الصرف، والنطاق الهوائي عبر امتصاص الأكسجين المُذاب. يساهم المروّق النهائي في إزالة النترتة عبر استخلاص الكدرة البكتيرية للأكسجين من النترات، من خلال تأيّض المواد الصلبة العضوية في أثناء الترسيب. غير أن معظم إزالة النترتة يحدث في الحجرة اللاأكسجينية، ويتم ضبط درجة إزالة النتروجين عبر معدّل الانسياب مُعاد التدوير. تعتمد كمية النترات الراجعة والتي يمكن اختزالها، على المعدّل الأقصى لإزالة النترتة الممكن في النطاق اللاأكسجيني. يمكن لكل من إعادة تدوير عالية جداً، تحمل في أثناءها النترات عبر النطاق اللاأكسجيني إلى الحجرات الهوائية، وبشكل مشابه يمكن لفترة تهوية قصيرة جداً أن تخفّض درجة النترتة. وهناك عوامل أخرى، كالتركيز النسبي للنتروجين بالنسبة إلى الـ BOD في مياه الصرف، ودرجة الحرارة، تؤثّر أيضاً في طريقة تشغيل المعالجة. يظهر الشكل 13-18 معالجة تقليدية لمياه صرف محلية مرسَّبة لدى درجة حرارة متوسطة بزمن احتفاظ إجمالي يبلغ تقريباً 8 ساعات في الحجرات الحيوية. يحدد نتروجين التدفق الداخل بقيمة قدرها 100%. ومن هذه القيم، يتحوّل ما نسبته بين 30% و35% إلى غاز نتروجين، و20% إلى 25% يظهر في حمأة الصرف على شكل نتروجين عضوي، و40 إلى 50% في التدفق الخارج للمحطة على شكل نتروجين النترات بصورة أساسية. وهكذا فإن عملية النترتة – إزالة النترتة الحيوية تزيل بين 50 و60% من نتروجين التدفق الداخل. إن إجراء إزالة النترتة قبل نطاق النترتة ذو فوائد نظراً إلى استخدام الـ BOD في مياه الصرف الخام كمصدر للكربون، ولتخفيضه الاحتياج للأكسجين اللازم لنطاق النترتة، ولقيام إزالة النترتة باسترداد القلوية المفقودة خلال النترتة.



شكل 13-17: مخطط تشغيل إزالة النترتة عبر نمو معلّق لاأكسجيني يلي نترتة



شكل 13-18: مخطط تتبع نتروجين مياه الصرف عبر نظام نترتة – إزالة نترتة حيوي افتراضي. من أصل 100% نتروجين التدفق الداخل، 30 الى 35% منه تحرر على شكل غاز نتروجين، 20 الى 25% نتروجين عضوي لحمأة الصرف المنشطة، ويظهر 40 إلى 50% منه في التدفق الخارجي على شكل نتروجين نترات بصورة أساسيّة

إزالة الفوسفور ونترتة وإزالة نترتة حيوية مشتركة

تبدأ النترتة وإزالة النترتة الحيوية بالمعالجة مع نطاق لاأكسجيني يليه نطاق هوائيّ لإزالة النتروجين. إن بدء العملية بنطاق لاهوائي يحرِّض تحريراً حيوياً للفوسفور العضوي وتغيير سلوك البكتيريا، ما يتسبّب بتحسين امتصاص الفوسفور خلال التهوية الحيوية. يُشار إلى هذه العملية بإزالة الفوسفور الحيوي المُحسّنة (EBPR). تتم إزالة فائض الفوسفور التي تتراوح بين 6% و8%، مقارنةً بالقيمة النموذجية البالغة 2%، ضمن حمأة الصرف المنشّطة. وتعتمد الإزالة الفعلية على

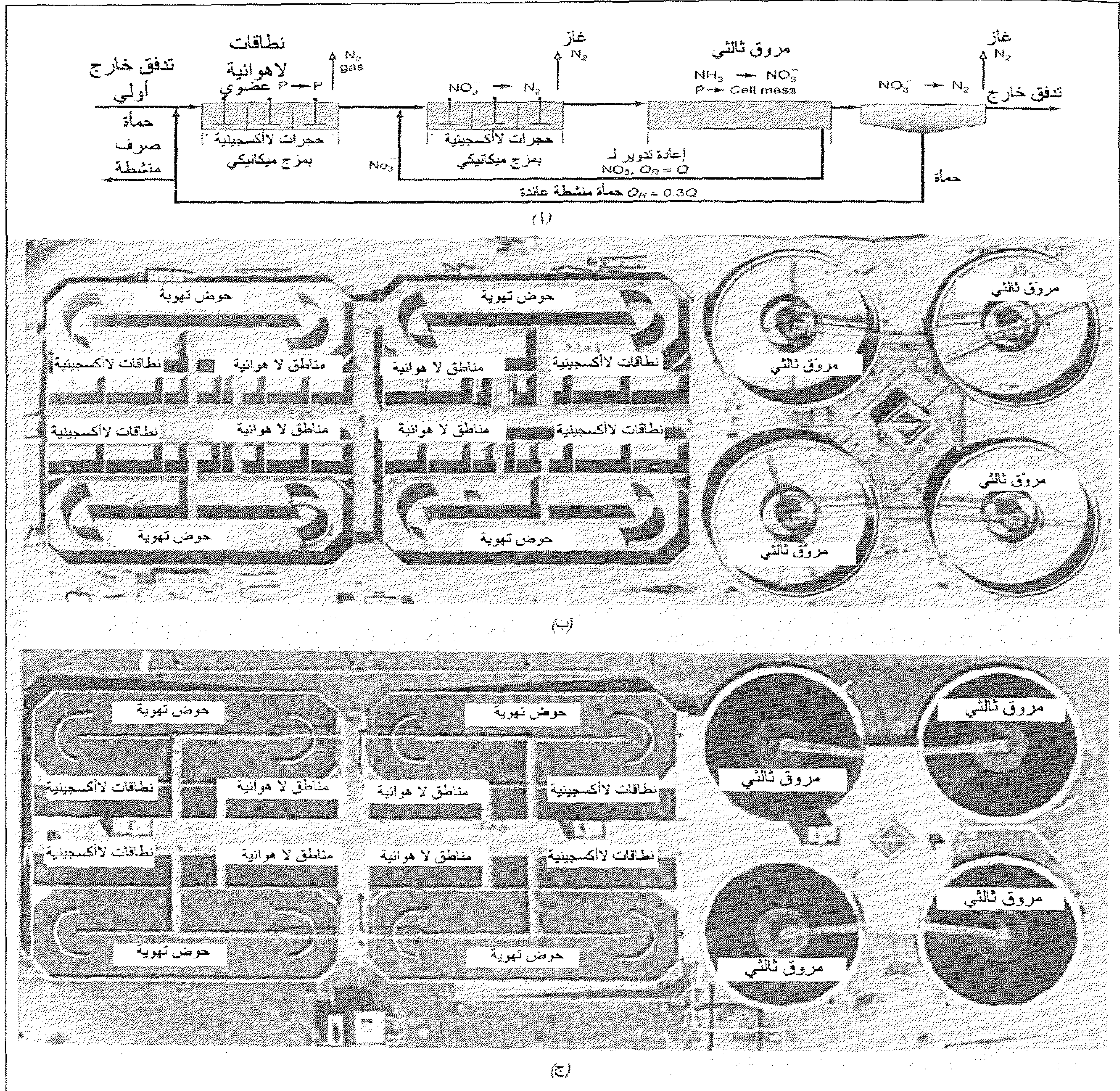
التحكّم التشغيلي بالعملية، وكفاءة عمليات إزالة المواد الصلبة، ومعالجة الحمأة والتي تحدّ من عودة الفوسفور إلى معالجة مياه الصرف.

يظهر (الشكل 13-19أ) نظام إزالة مغذيات حيوية EBPR للفوسفور والنتروجين. تسمح الخزّانات المستقلة بظروف إعادة التدوير الداخلي والانسياب السادّ. ويعتمد تحديد أحجام الخزّانات الهوائية واللاأكسجينية على خصائص مياه الصرف، وpH، ودرجة الحرارة، والأكسجين المُذاب، وترتيب جداول إعادة الترتيب الداخلية. يُحدد عادةً حجم النطاقات اللاهوائية بحوالى 10% إلى 20% من حجم خزان التهوية. يجب أن تجعل النطاقات اللاأكسجينية قيمة الأكسجين المُذاب صفراً وأن توفر زمناً كافياً للتحوّل الحيوي للنترات إلى غاز النتروجين. وهي تتراوح عادةً بين 0.5 hr إلى 3.0 hr زمن احتفاظ. والنطاق الهوائي هو الأكبر وقد صُمّم لزمن احتفاظ يصل لـــ 6إلى 24 hr. يظهر تصميم مرفق المعالجة الموضّح في الشكل (13-19ب) ثلاثة خزّانات لاهوائية (زمن احتفاظ كل منها 1 hr)، يليها ثلاثة خزانات، (زمن احتفاظ كل منها 2.25 hr)، وخزان هوائي نهائي (زمن احتفاظ 6 hr). يمزج النطاقان اللاهوائي واللاأكسجيني بواسطة مازجات دافعة للأمام مغمورة لضمان مزج تام. تتم تهوية النطاق الهوائي بواسطة تهوية توليد فقاعات صغيرة من نافخات قابلة للتعديل. وبالرغم من المضخات الدافعة إلى الأمام غير ضرورية للمزج، إلا أن النطاق الهوائي يستخدمها أيضاً لإيجاد سرعة دورانية قدرها 1 ft/sec، وذلك لزيادة كلٍّ من زمن المرور ونقل الأكسجين. تستخدم بعض المحطات خزان تهوية بيضويّ الشكل مشابهاً لخندق الأكسدة مع مهوّيات أفقية لتدفع مياه الصرف قدماً حول القناة. تتم المحافظة على تراكيز المحلول الممزوج بين 2500 و5000 mg/l. إن إعادة التدوير الداخل أمر حسّاس من ناحية الأداء. تدخل مياه الصرف الخام الخزان اللاهوائي الأول وتُمزج مع إعادة تدوير لاهوائي من نهاية الخزان اللاهوائي الثالث. توفِّر الحمأة المنشّطة العائدة، الداخلة إلى الخزانين اللاهوائيين الأول والثاني بكتيريا جديدة. ويعيد جدول إعادة التدوير الثاني النترات إلى نطاق اللاأكسدة الأول لإزالة النترتة. تُختار أحجام مضخات الحمأة المنشطة العائدة والمعاد تدويرها أكبر بـــ 1 إلى 1.5 مثلاً

لانسياب التصميم. تتراوح طاقة المزج المطلوبة لنطاقات اللاأكسدة من 0.25 إلى 0.8 hp/1000 cu ft. تعتمد متطلبات هواء أحواض التهوية على احتياج الأكسجين لكل من الـــ BOD والأمونيا.

إن المراقبة المستمرة للأكسجين المُذاب، ولكمون الأكسدة الاختزال (ORP)، والأمونيا، والنترات، والفوسفور تساعد في التحكُّم بالعملية. وتغيّر التعديلات في الأكسجين العائد والأكسجين المُذاب، كلاًّ من التركيز والنشاط الحيوي للأطوار ذات الصّلة من العملية. إن التحكُّم بإزالة النترات ممكن وذلك عبر تعديل انسياب الحمأة المنشطة العائدة، وانسياب إعادة التدوير، ونقاط التغذية إلى حوض التهوية. يعتمد التحكّم بانسياب الحمأة المنشطة العائدة، كما هو الحال مع الحمأة المنشطة التقليدية، على أداء المروّق النهائي وعمق غطاء الحمأة. يمكن ضبط انسياب إعادة الدوران اعتماداً على أداء المعالجة وعلى تراكيز الأكسجين المُذاب. أما مواقع نقاط التغذية وانشطار الانسياب، فتعتمد على خبرة التشغيل. يمكن تحقيق إزالة إجمالية للفوسفور تبلغ 70 إلى 80%، وإزالة نتروجين إجمالية تبلغ 50 إلى 70%، وذلك باستخدام نطاقات لاهوائية، ولاأكسجينية وهوائية مشتركة.

تتطلب البكتيريا المستعملة في إزالة النترتة وإزالة الفوسفور، مصادر كربون وحمض دسمٍ طيّار، والتي قد تكون غير كافية حتى في مياه صرف محلية عادية. وفي ما يتعلق بالنترتة – إزالة النترتة ثنائية المرحلة، فقد يُستخدم الميثانول لدعم مياه صرف ضعيفة. ويمكن التوصُّل إلى إزالة الفوسفور تحت ظروف لاهوائية وذلك بتربية عضويات مُراَكِمة – للفوسفور والتي تمتص بسرعة الأورثوفوسفات المُذابة. تزيد البيئة اللاهوائية السابقة تركيز الأحماض الدسمة الطيّارة من خلال تحلُّل المادة العضوية متسبِّبةً بتحرر الأورثوفوسفات إلى المحلول من العضويات الاختيارية. وفي بيئة هوائية، يكون الاستخدام الخليوي للأحماض الدسمة الطيّارة حاسماً في امتصاص الأورثوفوسفات، ولكن تتطلَّب عضويات أخرى، بما فيها العضويات المنترتة، الأحماض الدسمة الطيّارة لبناء الخلية. يتوفر الميثانول وحمض الخليك تجارياً، ويمكن استخدامهما لدعم مياه الصرف متدنية القوة.



شكل 13-19 عمليات إزالة مغذيات حيوية ثلاثية المرحلة لإزالة الفوسفات والنتروجين، (أ) مخطط تصويري يظهر ترتيب المعالجة والجداول الجانبية. (ب) أحواض قيد الإنشاء. (ج) أحواض منجزة يد التشغيل لمرفق مراقبة تلوّث مياه مدينة لاس فيغاس، نيفادا

ينتج التخمّر اللاهوائي للحمأة المنشطة أو الحمأة الأولية حمضَ الخليك ونواتج جانبيةٍ من أحماض دسمة طيّارة. يجب أن يَأخذ تصميم خزان التخمير بالاعتبار تقطيرَ الأحماض الدسمة الطيّارة وسحبها من الكتلة الحيوية وتحرير الغازات المُذابة تحت ظروف لاهوائية للوصول إلى ترسيب كفؤ. يجب أن يُستخدم تخمير نفايات الطعام، والحمأة الأولية أو الحمأة المنشطة مُعادة التدوير، بدلاً من الإضافات

الكيميائية. وقد يكون من الضروري ترسيب الفوسفور كيميائياً وذلك لإزالة الفوسفور المتبقي للوصول إلى المستوى المطلوب.

مثال 5-13

يُستثمر خندق أكسدة لمحطة تهوية موسّعة كعملية نترتة – إزالة نترتة. يبلغ حجم خزان التهوية $5600\ m^3$. اعتماداً على بيانات عدَّة أشهر، وُجِد أن متوسط انسياب مياه الصرف يبلغ $4300\ m^3/d$ بالخصائص الآتية 260 mg/l BOD، SS 300 mg/l، 51 mg/l إجمالي N، NH_3-N 31 mg/l. بلغ متوسط نوعية التدفق الخارج BOD 5 mg/l، SS 8 mg/l، 7 mg/l إجمالي N، NH_3-N 4 mg/l وNO_3-N 2 mg/l. يبلغ متوسط تركيز MLSS 4700 mg/l، وتراوحت درجة الحرارة بين 16 و$18^{\circ}C$. احسب حمولة BOD الحجمية، نسبة *(F/M)* ، فترة التهوية، إزالة الـــ BOD، إزالة الـــ SS، إزالة الـــ N الإجمالي.

الحل

حمولة BOD =

$$= \frac{(260\ mg/l)(4300\ m^3/d)}{(4700\ mg/l)\ 5600\ m^3} = 200\ g/m^3\ .d$$

$$F/M = \frac{(260\ mg/l)(4300\ m^3/d)}{5600\ m^3} = 0.042\ \frac{g\ BOD/d}{g\ MLSS}$$

$$t = \frac{5600}{4300}\ 24 = 31h$$

إزالة BOD = $\frac{260-5}{260}$ 100 = %98

إزالة SS = $\frac{300-8}{300}$ 100 = %97

إزالة النتروجين الإجمالي = $\frac{51-7}{51}$ 100 = %86

المراجع

1. *Pomona Virus Study*. Sanitation Districts of Los Angeles County, California State Water Resources Control Board: Sacramento, CA, 1977.
2. *Retrofitting POTWs for Phosphorus Removal in the Chesapeake Bay Drainage Basin*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. EPA, 625/6-87/017.

مطالعة إضافية

Nitrogen Control. US. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development: Washington, DC, September 1993. EPA 625/R-93/010.

Phosphorus Removal. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development: Washington, DC, September 1987. EPA 625/1-87/001.

مسائل

1-13 ما هي معايير EPA لنوعية الماء؟ ضع قائمة بالملوّثات التي لا تُزال بالطرق التقليدية. ما هو التلوّث البيئي الناتج من تحرّر الأمونيا والفوسفور؟

2-13 بالرجوع إلى الشكل 13-1، ما هي تقنية الترشيح المطلوبة لإزالة المُمرضات؟ لإزالة الفيروسات؟

3-13 كيف تُحمى الصحة العامة من الأمراض المعدية؟

4-13 ما هي القيود على الترشيح الثقالي، وما هي نتائج طرائق الترشيح المختلفة؟

5-13 كيف يؤثر الترسيب الثقالي والأنماط الأخرى للترشيح بالترافق مع التعقيم، في إزالة المُمرضات؟

6-13 العلاقة بين القدرة الحصانية والضخ مُعطَاةٌ بالعلاقة الآتية:

(كفاءة المضخة 3960 x)/(gmp x ft ماء) = hp. والقدرة بالكيلو واط ساعي (kWh، تساوي:hp 0.749). تبلغ كلفة الطاقة $0.15 لكل kWh. احسب الكلفة السنوية للضخ لمنشأة ترشيح طاقتها 1-mgd، بناء على أقل ضغوط تشغيل مُدرَجة في الجدول 13-1.

7-13 يبلغ انسياب مياه صرف 3 mgd بقيمة ذروة تبلغ 9.6 mgd. يجب أن يفي الترشيح بمتطلبات مياه مُعاد تدويرها بلا قيود. حدّد حجم طبقات المرشح متعدّد الأوساط ذات حجم واحد مع وجود وحدة واحدة خارج الخدمة.

8-13 ما هي سميّة التدفق الخارج، وكيف تُقاس؟

9-13 بالرجوع إلى الأشكال 13-1، و13-2، و13-10، ما هي خطط المعالجة المناسبة لإزالة الفيروسات في المعالجة الثالثية لإزالة الفيروسات، لماذا يجب أن يسبق التخثّر الترشيح؟ ما هي معايير نوعية مياه التدفق الخارج لإزالة الفيروسات؟

10-13 أرست البيانات المنشورة من قبل EPA العلاقة بين المواد الصلبة المعلّقة والقولونيات البرازية في الجدول الآتي، ضع قائمة بالحد الأدنى لعمليات المعالجة المطلوبة للوصول إلى الحدّ المسموح.

11-13 ما هي عملية إزالة الفوسفور النموذجية في المعالجة الأولية والثانوية؟

المواد الصلبة المعلّقة mg/l	القولونيات البرازية (MPN) 100 ml No./
3	2.2
10	23
21	100
30	200

كيف يمكن إزالة الفوسفور في المعالجة الأولية والثانوية والثالثية؟

12-13 إذا كان تركيز الفوسفور 7 mg/l في التدفق الداخل لمحطة طاقتها 10 mgd، كم تبلغ تغذية الشبّة أو الحديديك المطلوبة للإزالة؟

13-13 أضِف الشبّة بتركيز 100 mg/l إلى المروّق الأولي، ما مقدار الإزالة الكيميائية والبيولوجية الممكن توقُّعه؟ ما مقدار إزالة الــ BOD الموافقة؟ (ملاحظة: ارجع إلى المثال 13-2).

14-13 استخدمت الشبّة في محطة طاقتها 12-mgd لتخفيض الفوسفور من 5 mg/l إلى 0.5 mg/l. بلغت إضافة الشبّة 90 mg/l بكلفة 210$ للطن. احسب كمية الشبّة المُستخدمة وكلفتها.

15-13 اشرح طرائق تقييم سميّة التدفق الخارج، كيف يمكن تخفيض السُميّة؟

16-13 محطة ذات طاقة 12 mgd مشابهة لتلك الموضحة في الشكل 13-6. احسب كمية الفوسفور بالباوند في التدفق الخارج. كم يبلغ حجم مضخات تغذي بالشبّة باستخدام صنف تجاري للشبّة حاوٍ على: محلول 5 lb Al/gal؟

17-13 باستخدام المثال 13-2، ما مقدار الجزأين العضوي واللاعضوي للمواد الصلبة لحمأة، مقدرة بالــ mg/l وكذلك بالباوند لمحطة استطاعتها 6 mgd؟ إذا كانت الحمأة العضوية مكوّنة بنسبة 75% من (VSS)، وكان الهضم اللاهوائي يدمر 50% من (VSS)، كم سيكون مقدار المواد الصلبة في الحمأة النهائية المهضومة؟ إذا تمكن نزع الماء من اصطياد 95% من المواد الصلبة واحتوت الكعكة على 26% من المواد الصلبة، كم يبلغ الوزن الجاف والرطب للحمأة بالطن؟

18-13 ما هي المواد الكيميائية المُستخدمة في إزالة الفوسفور الكيميائي؟ ما هي المواد الكيميائية المُستخدمة لتحسين إزالة الفوسفور حيوياً؟

19-13 إذا بلغ تركيز الفوسفور في التدفق الداخل 7 mg/l وكان هدف التدفق النهائي 0.75 mg/l وذلك للوصول إلى حدود سماح للتدفق الخارج أقل من 1 mg/l، فما هي كمية الشبّة الواجب إضافتُها؟ إذا احتوت الشبّة التجارية على 5 باوند Al بالغالون، حدد حجم المضخة وخزان التخزين المطلوبين لمدة 10 أيام تخزين.

20-13 محطة ذات انسياب 6.3 mgd مشابهة لتلك الموضحة في الشكل -12 13، ذات BOD قدره 320 mg/l، وSS قدره 280 mg/l، وفوسفور قدره 7 mg/l. وبالمحافظة على التدفق الخارج نفسه البالغ BOD 22 mg/l، وSS 20 mg/l، احسب حمأة فوسفور مياه الصرف المرسّبة وحمأة مياه الصرف المنشّطة معبَّراً عنه بالتركيز وبالباوندات (ارجع إلى المثال 13-2).

21-13 ما هو مصدر الفوسفور والنتروجين في مياه الصرف؟ ضع قائمة بأشكال النتروجين والفوسفور في التدفق الداخل لمياه الصرف. إذا كان تشكُّل مياه الصرف يبلغ 120 gpcd. ما هو متوسط مساهمة الفوسفور والنتروجين lb/capita/day؟

22-13 اشرح الظروف الهوائية، واللاأكسجينية واللاهوائية بصيغ الأكسجين الموجود. تحت أيّ ظروف تحدث النترتة ولماذا؟

23-13 ما هي العلاقة بين النترتة والقلوية؟

24-13 بالرجوع إلى الشكل 13-15 لمدينة لاس فيغاس. إذا كان نقل الأكسجين 6%، وكان الهواء حاوياً على 0.0154 lb O_2/cu ft air، ما مقدار النتروجين الذي يمكن معالجته؟

25-13 تحتوي محطة استطاعتها 4.03 mgd على 32 mg/l من النترات قبل النترتة – إزالة النترتة ثنائية المرحلة. ما مقدار الميثانول المطلوب؟ إذا كان

الميثانول التجاري بدرجة نقاء 95% وبكلفة تبلغ 1.3 $/gal، ما الكلفة الشهرية لإضافة الميثانول؟

26-13 صممت محطة استطاعتها 2.2 mgd وفقاً للشكل 13-18. باستخدام 1 باوند من الـــ BOD المُذاب = 1 باوند ميثانول، مع جزء ذوّاب قدره 40% من الـــ BOD الكلّي للتدفق الداخل، كم يبلغ الـــ BOD المُستَهلَك، باستخدام قيمة BOD في التدفق الداخل قدرها 200 mg/l، كم يبلغ BOD المُستَهلَك في عملية النترتة؟

27-13 استُخدِم نظام حمأة مخبر منشطة لتقويم إزالة الفوسفور كيميائياً – حيوياً باستخدام الشبّة في حجرة التهوية. استُخدِم اثنا عشر لتراً من مياه الصرف المرسّبة بمعدل ثابت في حجرة تهوية حجمها 3.6 l. تم الإبقاء على قيمة 2000 mg/l في خزان تهوية MSLL، وذلك بطرح 200 إلى 250 ml من المحلول الممزوج يومياً. تراوحت درجة الحرارة ما بين 22 إلى 24°C، وكانت قيمة pH 7.4، وتراوحت قيمة SVI بين 90 و130 mg/l. كان للشبّة التي تمت التغذية بها قوة 10.0 mg من الشبّة التجارية في كل ml. جمعت البيانات الآتية لدى معدّلات تغذية مختلفة.

التدفق الداخل					
القلوية (mg/l)	P (mg/l)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	الشبّة المُستخدمة (ml/day)	تغذية بمياه الصرف (l/day)
350	10.3	94	150	0	12
350	10.9	104	158	70	12
340	10.6	114	169	140	12
360	10.4	135	173	210	12
320	9.3	123	173	390	12
التدفق الخارج					

القلوية (mg/l)	P (mg/l)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	الشبّة المُستخدمة (ml/day)	تغذية بمياه الصرف (l/day)
230	7.9	7	6	0	12
200	5.4	8	6	70	12
160	2.4	11	5	140	12
140	1.0	10	10	210	12
80	0.5	17	8	390	12

احسب إزالة الفوسفور والنسبة الوزنية للشبّة المُستخدمة إلى الفوسفور الإجمالي في التدفق الداخل لمياه الصرف لكل دفعة. ارسم مخطط للنسب المئوية لإزالة الفوسفور مقابل النسبة الوزنية لقيم جرعات الشبّة المعطاة في النص تحت المعادلة 13-2.

احسب متوسط كفاءات إزالة الــ BOD وSS. اقترح بضع أسباب تفسر سبب انخفاض قيم الــ BOD وSS وارتفاع قيم الكفاءات الناتجة من نظيراتها التي يتم الحصول عليها عادةً بتشغيل بالمقياس الكامل الطبيعي لمحطة المعالجة. لماذا يتناقص تركيز القلويّة في التدفق الخارج مع ازدياد جرعة الشبّة؟

13-28 جمعت بيانات للأمونيا والقلوية على امتداد طول حوض تهوية عرضه 100 ft، وعمقه 18 ft، وطوله 168 ft. بلغ معدّل الانسياب 10 mgd. ارسم بيانياً قيم الأمونيا والقلوية مقابل المسافة. احسب قيم k وارسمها بيانياً مقابل المسافة.

$$\ln\left(\frac{\text{أمونيا على مسافة } D}{\text{أمونيا التدفق الداخل}}\right) = -k\,(\text{MLSS})1.024^{T-20}t$$

$$t = \frac{\text{المسافة . المساحة}}{\text{الانسياب}}$$

مسافة (ft)	أمونيا (mg/l)	قلوية (mg/l)
0	16.1	243
6	16.46	185
12	12	190
18	8	190
24	5.28	188
30	4.48	189
36	3.96	188
42	4.55	191
48	2.93	181
54	2.64	178
60	2.62	178
66	2.59	178
72	2.44	178
78	2.31	179
84	2.44	178
90	2.44	180
96	1.69	178
102	2.01	175
108	1.44	172
114	0.87	172
120	1.05	171
126	1.25	172
132	0.6	177
138	0.8	173
144	0.53	173
150	0.42	174
156	0.4	172
162	0.59	169
168	0.55	170

13-29 حدد لمحطة طاقتها 5 mgd، أبعاد أحواض إزالة الفوسفور والنتروجين. ما هي المواد الكيميائية الضرورية لتحسين الإزالة؟

13-30 باستخدام حمولة أمونيا قدرها 10 lb/100 cu ft ($160\ g/m^3/d$)، حدّد حجم الحوض لمحطة طاقتها 10 mgd وذلك باستخدام بيانات الشكل 13-16.

13-31 كيف يُزال الفوسفور والنتروجين بالمعالجة التقليدية؟

13-32 أعد المثال 13-4 والشكل 13-16 لمحطة معالجة لا تحتوي على مروّق أولي.

الفصل 14

إعادة استخدام المياه

إن ممارسة طرح مياه صرف معالجة في المياه السطحية وسحب المياه من مصبات الأنهار، لا يعتبر إعادة استخدام وذلك نظراً إلى أن التخفيف والفصل الزمني والمكاني يسمحان بحدوث تنقية إضافية. يتضمن مفهوم إعادة استخدام مياه الصرف الاستخدام المباشر لمياه الصرف المُعالجة في الريّ الزراعي، والريّ المدني، وإعادة الاستخدام الصناعي، وإعادة تغذية المياه الجوفية، وفي بعض الحالات في تنظيف الشوارع، وغسل السيارات، وشطف المراحيض. وتتطلب تطبيقات إعادة استخدام المياه درجة معالجة تتراوح بين معالجة ثانوية ومعالجة ثالثية متقدمة. وتزداد درجة المعالجة بازدياد درجة وصول عامة الناس إلى هذه المياه ومدى الاهتمام بالصحة العامة. يحدّ ريّ أراضي المراعي وأراضي الملكيات الخاصة (مع وجود منطقة محيطية عازلة مناسبة ووجود سور) من وصول العامة، وقد تقتصر المعالجة على أنظمة برك أو محطات ميكانيكية مع معالجة ثانوية.

يتسبب ريّ المناطق الخضر التي تتوسط الشوارع والمسطحات الخضر في المناطق السكنية العامة بالتعرُّض إلى المياه المُعاد استخدامها وإلى الضباب المائي نتيجة الريّ بالترذيذ، لذا فإن معالجة ثالثية مع مستويات عالية من التعقيم أمر مطلوب لتفادي المخاطر الصحية المترافقة مع المُمرضات في مياه الصرف. تتطلب إعادة تغذية المياه الجوفية درجة معالجة تصل إلى استصلاح المياه بهدف إزالة المركّبات العضوية والأملاح المُذابة ولتحسين نوعية المياه قبل حقنها.

إن قرار تطوير تطبيقات إعادة استخدام المياه غالباً ما يكون اقتصادياً، وقد يكون السبب في ذلك هو النظر إلى مياه الصرف من زاوية طرحها في المياه السطحية أو النظر إليها كمصدر للمياه. فإن نُظر إليها من زاوية الطّرح فسيكون السؤال: ما هو مستوى المعالجة المطلوب لطرحها في المياه السطحية؟ تعتمد متطلبات نوعية المياه للطرح على قدرة هضم وتمثل الجسم المتلقّي والتي نوقشت في الفصل 5. ويتوفر معيار إعادة الاستخدام غير المباشر لهذه المياه عندما يتمّ سحب التدفّقات الخارجية التي طُرحَت وخُففَت في نهر ما، في مناطق مصب النهر، إما للريّ أو كمصدر للمياه العامة. وفي بعض الحالات، تمثّل المياه المعالَجَة جزءاً معتبراً من الانسياب النظري المقدَّر. ففي بعض الولايات يعتبر جدول يوفّر تخفيفاً بنسبة 20:1 للتدفّق الخارجي لمياه الصرف على أنه تخفيف واقٍ للصحة العامة. أما إن كان التخفيف دون 20:1، أو إن كانت قدرة الهضم والتمثّل غير كافية، فسيتطلب الأمر مستوى معالجة مساوياً للمياه المعاد تدويرها لإعدادها للطرح السطحي، وذلك حمايةً للصحة العامة.

وكبديل للطرح، قد تكون إعادة استخدام المياه أقل كلفة من طرحها في المياه السطحية أو من كلفة أيّ بدائل أخرى. فمثلاً، تم تطوير نظام إعادة استخدام للريّ الزراعي في تالاهاسي، وفلوريدا، نتيجة النمو المفرط للعضويات ومشاكل نوعية المياه الناتجة من الطّرح السطحي إلى البحيرة الموجودة باتجاه مصب النهر. لقد تم تطوير نظام ريّ ومعالجة لإعادة استخدام المياه كبديل عن الكلفة العالية لتقديم معالجة متقدِّمة لمياه الصرف تهدف إلى إزالة الفوسفور والنتروجين. وفي الآونة الأخيرة فقط، غدا نقص المياه عاملاً مشجعاً لتطوير مياه معاد تدويرها.

يمكن اعتبار التجهيز بإعادة استخدام مياه مُعاد تدويرها جزءاً من التجهيز الإجمالي للمياه خلال التخطيط الرئيس لمصادر المياه. قد تُستخدم المياه معادة التدوير بدلاً من بعض مياه الشرب، حيث تكون التجهيزات الإضافية بمياه الشرب إما أكثر كلفة أو أنها غير متوفرة، وبالتالي تحرير كمية مكافئة من مياه الشرب لاستخدامات أخرى. وبسبب محدودية التجهيزات بالمياه في الكثير من المناطق المدنية بكاليفورنيا، وأريزونا، وفلوريدا وولايات أخرى، تعتبر المياه معادة التدوير

مصدراً بديلاً للتجهيز بالمياه إلى جانب المياه الجوفية، والمياه السطحية والتجهيزات بالمياه المجلوبة. وتستمر النقاشات في المناطق التي لا تفي التجهيزات بالمياه باحتياجات مياه الشرب، حول إعادة استخدام المياه واستصلاحها لاستكمال التجهيزات بمياه الشرب. فمثلاً لتأمين احتياجات المياه الجوفية في أورانج كاونتي، وكاليفورنيا، سحبت مياه المحيط إلى القارة الأمر الذي تسبب بتلويث التجهيزات العذبة بمياه الشرب. ومنذ عام 1976، بدأ حقن المياه الجوفية لإيجاد علوّ هيدروليكي باستخدام مياه مستصلحة معالجة إلى حد بعيد، لمنع اقتحام مياه البحر. تمتزج هذه المياه مع مياه جوفيّة أخرى، وتسحب أخيراً كجزء من التجهيز بمياه الشرب. ينبغي ألا يؤثر عكسياً استخدام المياه معادة التدوير في الحقوق المائية عند مصب النهر، أو التسبب بتردِّي نوعية المياه، أو الإضرار بالنباتات والأسماك والحياة البرية. ويمكن أن يكون سحب التدفُّق الخارج من محطة معالجة، من التصريف الذي تطرحه في النهر، مقيَّداً بنوعية المياه الضرورية للمحافظة على الموطن الطبيعي القائم على امتداد النهر. تعتمد متطلبات المعالجة من أجل الطّرح على الاستخدامات المفيدة المُرتبطة بالنهر. وأينما كان الاستخدام المفيد للمياه بقصد الترفيه غير المقيَّد، يصبح من المطلوب القيام بمعالجة جيدة النوعية للمياه معادة التدوير، قبل طرحها. وستطبَّق أيضاً متطلبات معالجة إضافية لإزالة المغذيات، والمعادن، والأملاح، و(TDS)، وذلك تبعاً لطاقة النهر على هضم المواد المذكورة.

حافظت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية على إحصائيات مائية تتعلق باتجاهات المياه، وبمصادرها، وإيصالها إلى تجهيزات المياه العامة وبإنتاج مياه الصرف. في عام 1995، بلغ إجمالي مياه الصرف المعاد تدويرها 983 mgd أو حوالى 2% من مياه الصرف الصادرة البالغة 41000 mgd وفي السنة نفسها، تضمنت مصادر المياه الإجمالية 19.25% من المياه الجوفية، و80.5% من المياه السطحية، و0.25% من المياه معادة التدوير. لقد كانت ولايات أريزونا (209 mgd)، وكاليفورنيا (216 mgd)، وفلوريدا (271 mgd) مسؤولة عن إجمالي قدره 696 mgd، أو حوالى 71% من الإجمالي الوطني للمياه معادة التدوير في عام 1995. وفي أريزونا، حوالى 37% من كافة مياه الصرف المعالجة، معادة التدوير. يبين الجدول 14-1 سحوبات

المياه الجوفية والسطحية والمياه المُدَوّرة منذ عام 1950 إلى عام 1995. لقد أوردت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية أن "معظم الزيادات في استخدام المياه ناتج من التوسع في أنظمة الريّ وتطور الطاقة. إن تطور الريّ المحوريّ المركزيّ ومصادر المياه الجوفية الوفيرة قد عززت من استخدام المياه الجوفية".

لقد تسببت الأسعار المرتفعة للطاقة في سبعينيات القرن الماضي، والانخفاض الكبير في مناسيب المياه الجوفية في زيادة كلفة الريّ. وفي ثمانينيات القرن الماضي، أدَّت التقنيات الزراعية المُحسّنة، وانكماش الاقتصاد الزراعي، والتنافس المتزايد على المياه، إلى تناقص الطلب على المياه، وعززت التحوّل من إدارة التجهيز بالمياه إلى إدارة الاحتياج إلى المياه.

جدول 14-1: بيانات هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية لسحوبات المياه واستخدام المياه معادة التدوير مقدرة بآلاف ملايين الغالونات باليوم

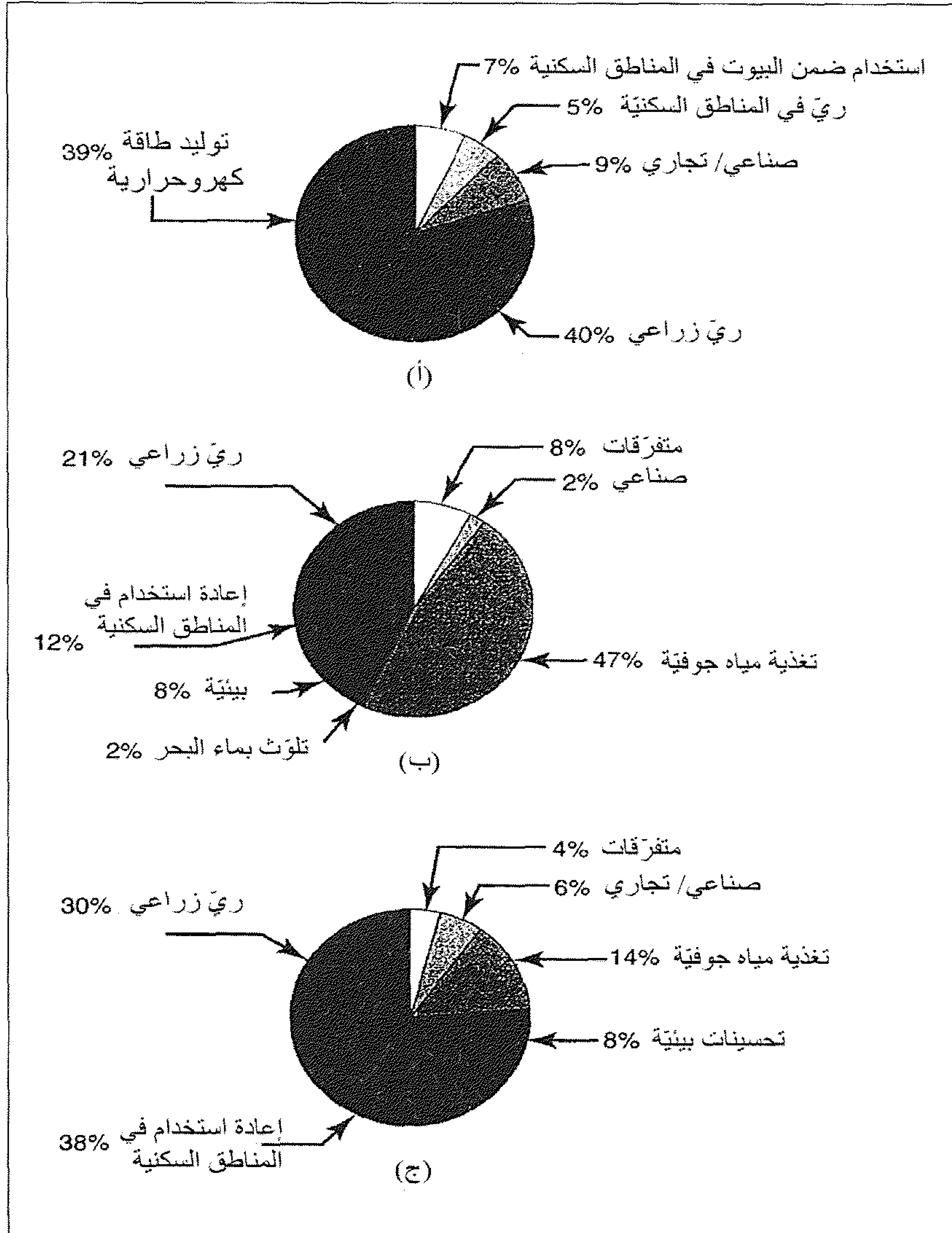
السنة	مياه جوفيّة	مياه سطحيّة	مياه معادة التدوير
1950	34	150	
1955	48	198	0.20
1960	50	221	0.60
1965	61	253	0.70
1970	69	303	0.50
1975	83	329	0.50
1980	84	361	0.50
1985	74	325	0.58
1990	81	325	0.75
1995	78	324	1.02

يمكن أن يُعزى النقص الإضافي إلى زيادة إعادة تدوير المياه، والكفاءات الصناعية المُحسّنة، وإلى التعديلات في الوثائق، بهدف تخفيف طرح الملوّثات. والنتيجة الإجمالية كانت عودة كمية أقل من المياه إلى الأنظمة الطبيعية بعد الاستعمال.

لقد رأت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية أن سحوبات المياه سوف تستمر بالازدياد مع زيادات عدد السكان. وقد تقلّل الأسعار المرتفعة للمياه والبرامج النشيطة للمحافظة على المياه من استعمال الفرد للمياه. وسوف يواجه من يقومون بريّ مزروعاتهم صعوبة متزايدة في التنافس مع مستخدمي المياه في المدينة وفي الصناعة، على التجهيزات بالمياه المتوافرة. يجب إيلاء مشاكل إدارة المياه اهتماماً متزايداً لضمان التوصل إلى أقصى فوائد من المصادر الوطنية للمياه.

يعرض الشكل 14-1 المتوسط الوطني لاحتياجات المياه وإعادة استخدامها وفقاً لأصنافها في كاليفورنيا وفلوريدا. لقد كانت أكبر احتياجات للمياه لتوليد الطاقة الكهروحرارية، والريّ الزراعي، والتجهيز بالمياه العامة، والاستخدامات الصناعية. تبلغ الاستخدامات الزراعية والصناعية للمياه في الولايات المتحدة 90% من إجمالي سحوبات المياه من الأنهار، والبحيرات، والمياه الجوفيّة. يمثِّل الريّ الزراعي نسبة 40% من إجمالي السحوبات المائية. و10% فقط من المياه تُستخدم في الاحتياجات المنزلية وتُسهِم بمتوسط انسياب مياه صرف يتراوح من 75 gpcd إلى 80 gpcd. وبالرغم من أن الحجم المنخفض للمياه المنزلية التي تولِّد مياه صرف يمكن معالجتها ليعاد استخدامها كمياه مُعادة التدوير، إلا أن هذا المصدر للمياه المعادة التدوير مهماً للمناطق الجافة المتمدنة. إن أكبر استعمالات إعادة الاستخدام في كاليفورنيا هو في الريّ الزراعي، وري المسطحات الخضر، أو في تغذية المياه الجوفية. تتضمن بعض الاستخدامات الأخرى، التحسينات البيئية، مثل إعداد أراض رطبة كمَواطن للحيوانات وجمع المياه في مناطق الاستجمام. تُجمَّع وتستخدم في فلوريدا كميات كبيرة من المياه في مناطق الاستجمام (بما في ذلك إعادة استخدام المياه في المدن) أكثر من تلك المُستخدمة في الريّ الزراعي، وفي تغذية المياه الجوفية، والاستخدامات الصناعية. يعتمد الاستخدام الفعلي على توفر المياه وعلى التكلفة النسبية لمصادر المياه العذبة، وعلى قرب محطة المعالجة للاستخدام المقترح للمياه، وعلى المتطلبات النسبية للمعالجة اللازمة للطرح. في عام 2000، قدمت ولاية فلوريدا جَرداً مفصلاً لـــ 103.660 ممتلكات سكنية، و401 مضمار غولف،

و385 حديقة، و159 ملعب مدرسي، تُسقى بمياه مُعادة التدوير. لقد تضاعفت تقريباً إعادة استخدام المياه في كاليفورنيا وفلوريدا منذ عام 1995.



شكل 14-1: احتياج المياه العذبة واستخدام المياه معادة التدوير. (أ) سحب إجمالي للمياه العذبة من صنف استخدام المياه في العام 2000[1]. (ب) استخدام المياه معادة التدوير في كاليفورنيا من صنف استخدام في العام 2002[2]. (ج) استخدام المياه معادة التدوير في كاليفورنيا من صنف استخدام في العام 2005[3].(معدلة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية، استخدام المياه في الولايات المتحدة، ولاية كاليفورنيا، دائرة مصادر المياه، حقائق المياه، دائرة فلوريدا للحماية البيئية، برنامج إعادة استخدام المياه، جرد إعادة استخدام المياه 2005، Water Facts: Water Recycling; Florida Department of Environmental Protection, Water Reuse Program, 2005 Reuse Inventory)

14-1 نوعية المياه والقوانين

لقد نظَّمت EPA طرح محطات المعالجة، عبر "نظام الاستئصال الوطني للتصريف الملوّث" (NPDES) وبالتالي منح تراخيص لعملية الطرح، غير أنها لم تتحكَّم بقوانين إعادة استخدام المياه أو بمنح تراخيص بذلك. لقد تم اعتماد قوانين لحيِّز واسعٍ من تطبيقات إعادة استعمال المياه، من قِبل ولايات منفردة، وبالرغم من أن كثيراً من الولايات لديها قوائم شاملة لتطبيقات إعادة استعمال المياه، والمعايير المتعلقة بمعايير نوعية المياه أو متطلبات المعالجة، إلا أنه ما من ولاية لديها قوانين تتضمن كافة الاستعمالات المحتملة. وتشجع بقوة ولايات أريزونا، وكاليفورنيا، وفلوريدا، وهاواي وتكساس إعادة استعمال المياه وقد تبنَّت قوانين تنظِّم معظم التطبيقات. تحدِّد القوانين في هذه الولايات متطلبات نوعية المياه و/ أو عمليات المعالجة الضرورية لحماية الصحة العامة، والمحافظة على نوعية المياه، وتحسين البيئة. تتضمن متطلبات تنظيمية أخرى التخزين، والمراقبة، والجريان، وتدابير احتياطية لطرح بديل، أو معدّلات حمولة الري.

يُدرِج الجدول 14-2 تطبيقات إعادة الاستعمال، عمليات المعالجة، والمتطلبات العامة لنوعية المياه جُمعت من معايير طُوِّرت من قبل ولايات منفردة. قد يمكن جمع أنماط إعادة الاستعمال في مجموعات ضمن الأصناف العامة لريٍّ زراعيٍّ مقيَّد، وريٍّ زراعيٍّ غير مقيد، وريٍّ مدنيٍّ مقيّد، وريٍّ مدنيٍّ غير مقيّد، وإعادة استخدام صناعي، وإعادة تغذية الحوامل المائية المُستخدمة في التجهيز بالمياه الجوفية. قد ترتبط عملية المعالجة بالقيود على نوعية المياه لكونه من المعروف أن الدمج بين المعالجة ومتطلبات نوعية المياه ينتج مياهاً مستصلحةً بنوعية مقبولة، كما يخفِّف من الضوابط التي يتوجَّب مراقبتها. لا تتطلب المعالجة الثانوية معالجةً أوليةً، إنّما يجب أن تتضمن أكسدةً.

تُستخدَم التهوية الحيوية عادةً لقدرتها الفائقة على إزالة الـــ BOD والمواد الصلبة. تُضاف المواد الكيميائية إلى مياه الصرف لتخثير المواد الصلبة وإمرار ما

لا يزيد على 5 gpm/sq ft عبر طبقة أوساط S لمرشح، ما ينتج منه عكورة أقل من 2 NTU. يجب على عمليات معالجةٍ، كالترشيح الغشائي أن تفي بمتطلبات العكورة وإزالة القولونيات بالكامل أو تتجاوزها. يجب أن يكون لزمن التّماس مع الكلور، قيمة CT (نموذج زمن تماس أزمنة تركيز الكلور المتبقي) لا تقلّ عن 450 mg/l، مع زمن تماس نموذجي لا يقل عن 90 min لدى ذروة الانسياب. يطلب الكثير من الولايات اختبار وترخيص العمليات والمعدات الجديدة لوضع قيود على الحمولة ولتحديد متطلبات المعالجة التالية. وتكون برك الاستقرار فاعلة في أنظمة المعالجة الصغيرة لإزالة بيوض الديدان الطفيلية وكييسات الابتدائيات، مع بركٍ متعدّدة الخلايا لأزمنة احتفاظ تتجاوز 20 يوماً. كما تُخفّف البكتيريا البرازية بشكل كبير في البرك الدافئة بفترة احتفاظ قدرها 25 يوم. وستكون هذه المدة مناسبة لإعادة استخدام زراعي وبعض الاستخدامات الصناعية.

ووفقاً لما تم شرحه في الفصل 13، تُزيل المعالجة الغشائية المـــواد الـــصلبة المعلّقة، والبكتيريا والكييسات. قد يتطلب تعقيم لإزالة الفيروسات وللإبقـــاء علـــى متبقٍ ما لدرجة تسمح باستخدام المياه. يمكـــن الحكـــم علـــى الأنمـــاط الـــصناعية للاستخدام وأنماط أخرى على أساس كل حالة على حدة. تحدث اختلافات معتبـــرة في وضع متطلبات المعالجة، فمثلاً، تسمح بعض الولايات ببرك استقرار قبل الري، ولكن تشترط معظم الولايات حداً أدنى للمعالجة الثانوية مع أكسدة وكلورة. وكجزء من متطلبات معظم الولايات، غير مدرّج في الجـــدول (14-2)، تُـــضاف قـــرائن الوثوقية، والتي تتضمن طاقةً بديلةً، وأجهزة إنذار، ووحدات معالجة بديلة، وتخزين للطوارئ، وأنظمة تحكُّم أوتوماتيكية.

تتضمن أجهزة الإنذار تلك المتعلقة بانقطاع إمدادات الطاقة، وتعطل العمليات الحيوية وعمليات التعقيم والتخثّر والترشيح. تنطلق أجهزة الإنذار بعد زمن انتظار قصير الأمد أو تُطرح احتياطات طوارئ وذلك لتفادي تلوّث المياه معادة التـــدوير والمحافظة على نوعية المياه المعالجة.

جدول 14-2: نمط استعمال المياه معادة التدوير، المُعالجة، ومتطلبات نوعية المياه جمعت من قوانين تم تطويرها من قبل ولايات منفردة

نمط استعمال المياه مُعادة التدوير	المعالجة	متطلبات نوعية المياه
تطبيقات غير مقيّدة لإعادة استعمال المياه	تصنيف A+	عكورة < 2 NTU (24- hr) لا تتجاوز 5 NTU
الري: محاصيل غذائية بما فيها محاصيل جذرية قابلة للأكل، حدائق، ساحات لعب، باحات مدارس، مساحات خضار في المناطق السكنية، وصول غير مقيّد لمضامير الغولف	معالجة ثانوية، ترشيح باستخدام مخثرات أو بوليميرات، إزالة نتروجين (إزالة نترتة)، وتعقيم	لا وجود لقولونيات برازية قابلة للكشف لمدة 7-أيام بالمتوسط، عينة مفردة <23/100 ml. نتروجين إجمالي < 10 mg/l (متوسط تركيز خمس عينات)
صناعي: تبريد صناعي أو تجاري، أو تكييف هوائي يتضمن استخدام أبراج تبريد، مكثفات بخارية، ترذيذ، أو أيّ آلية تتسبب بتشكّل ضباب		يجب أن لا تحتوي المعالجة البديلة والمياه الممزوجة أيّ فيروس معوي في عينات الأربعة أو السبعة أشهر الماضية.
أنى أمكن للضباب أن يمس الموظفين أو العامة، فإنه يجب استخدام الكلور أو أيّ مبيدات حيوية لمعالجة مياه التبريد الدورانية لجعل نمو الليجيونيللا أو أيّ عضويات مجهرية في الحدّ الأدنى	تصنيف A معالجة ثانوية، ترشيح باستخدام مخثرات أو بوليميرات، وتعقيم	عكورة < 2 NTU (24- hr) لا تتجاوز 5 NTU لا وجود لقولونيات برازية قابلة للكشف لمدة 7-أيام بالمتوسط، عينة مفردة <23/100 ml
أخرى: شطف المراحيض والمبولات، فتح محبس روائح البالوعات، مكافحة الحرائق، نوافير الزينة، المغاسل التجارية، البناء، صنع الثلج الصناعيّ، غسيل السيارات التجاري، تطبيقات مقيدة لإعادة استخدام المياه	(مساوية لمتطلب مستند كاليفورنيا 22 للمياه معادة التدوير ثالثياً والمعقّمة) معالجة ثانوية باستخدام الترشيح الميكروي، والترشيح النانوي، والترشيح فوق الميكروي، أو التناضح العكسي	يجب أن لا تحتوي المعالجة البديلة والمياه الممزوجة أيّ فيروس معوي في عينات الأربعة أو السبعة أشهر الماضية. عكورة < 0.2 NTU (24-hr) لا تتجاوز 0.5 NTU

الري: مقابر، طرق سريعة، مسطحات خضر، مضامير غولف دخول مقيد، مشاتل نباتات زينة ومزارع تربية الماشية ذات وصول للعموم، مراعي الحيوانات المنتجة حليب الاستهلاك البشري، ريّ خضراوات غير مخصصة للأكل حيث الوصول إليها مراقب.	تصنيف +B معالجة ثانوية، إزالة نتروجين (إزالة نترتة)، وتعقيم تصنيف B معالجة ثانوية وتعقيم	200/100 ml > لقولونيات برازية قابلة للكشف لمدة 7-أيام بالمتوسط، عينة مفردة > 800/100 ml نتروجين إجمالي > 10 mg/l(متوسط خمس عينات) 200/100 ml> > لقولونيات برازية قابلة للكشف لمدة 7-أيام بالمتوسط، عينة مفردة > 800/100 ml يمكن وضع حدود المواد الصلبة المعلّقة بين 5 mg/l إلى 10 mg/l قبل التعقيم
صناعي: تبريد صناعي أو تجاري، أو تكييف هوائي لا يتسبب بتشكّل ضباب أخرى: تغذية مراجل صناعية، رص التربة، خلط البيتون، التحكّم بالرمال، غسيل الشوارع، عمليات معالجة صناعية دون تماس مع العمال.	(مساوية لمتطلب كاليفورنيا للمياه الثانوية المعقّمة مع متطلبات تتعلق بالقولونيات أكثر تشدداً)	محاصيل قابلة للأكل، لا تُقشّر ولا تُنزع بشرتها، ولا تُطبخ أو أنها في أثناء معالجتها حرارياً ينبغي ألاّ تمس مياهاً معادة التدوير

مقيدة: تطبيقات ري ري: بساتين وكروم حيث لا تمس المياه المعالجة الجزء المأكول من المحصول، أشجار ذات ثمار لاغذائية، محاصيل حبوب لا تُستخدم كغذاء بشري، محاصيل غذائية تخضع لعمليات تجارية لقتل المُمرضات، مشاتل نباتات زينة ومزارع تربية الماشية (بلا ريّ مدة 14 يوماً تسبق الحصاد. أخرى: شطف المجارير الصحية	معالجة ثانوية في سلسلة من برك الاستقرار لمدة عشرين يوماً على الأقل، متضمنة التهوية، مع أو من دون تعقيم (مساوية لمتطلب كاليفورنيا للمياه الثانوية غير المعقّمة)	>1000/100 ml لقولونيات برازية قابلة للكشف لمدة 7-أيام بالمتوسط، عينة مفردة 4000/100 ml يمكن وضع حدود للـ BOD والمواد الصلبة المعلّقة بين 40 mg/l و60 mg/l يمكن أن يقتصر الاستعمال على الريّ بالغمر وعلى أنظمة الريّ بالتنقيط. يمكن تطبيق متطلبات أخرى للتعقيم إن تم ترذيذ مياه الصرف
صناعية: نمط غير مدرّج لإعادة استخدام مباشر)	تقدر المعالجة على أساس كل حالة على حدة من أجل: مياه صرف صناعي تحتوي مياه مجارير ري أو معالجة أيّ محصول يستخدم كطعام بشري أو حيواني تقدر المعالجة على أساس حالة بحالة باستخدام العوامل التالية المخاطر على الصحة العامة درجة وصول وتعرض العامة مستوى المعالجة الضرورية لضمان أن المياه مقبولة جمالياً مستوى المعالجة الضرورية لمنع حالات مؤذية متطلبات محدّدة لنوعية مياه النمط المطلوب لإعادة الاستخدام المباشر وسائط استعمالات المياه درجة المعالجة الضرورية لتجنب انتهاك نوعية المياه السطحية أو نوعية مياه الحوامل المائية احتمال استخدام غير صحيح أو غير مقصود إرشادات، وضوابط، ومعايير وكالة حماية البيئة الأمريكية U.S.EPA لإعادة استخدام المياه تجارب مشابهة لاستصلاح المياه في الولايات المتحدة	

وبالرجوع إلى الجدول (2-14)، تطبِّق بعض الولايات درجات مرمزة بحروف (من A إلى C) للدلالة على نوعية المياه معادة التدوير. تدل إشارة + على درجة الحرف إلى معالجة تتضمن إزالة نترتة. تُقاس نوعية المياه عادةً باستخدام BOD، المواد الصلبة المعلّقة، و/أو العكورة، والقولونيات. تُستخدم القولونيات كمقياس لدرجة المعالجة وكمقياس بديل للعضويات والفيروسات المُمرضة. تستخدم بعض الولايات القولونيات البرازية، بينما تستخدم ولايات أخرى القولونيات الإجمالية. يحتوي التدفّق الخارج لمياه الصرف قولونيات إجمالية أكثر من القولونيات البرازية، لذلك فإن القولونيات الإجمالية أكثر تشدّداً وأكثر دلالةً لدرجة معالجة أعلى. وعموماً، يرتبط مدى المعالجة، ودرجة التعقيم، والقيود على القولونيات بازدياد تعرض العامّة للمياه.

يشير مستند كاليفورنيا 22، الفصل الثالث، قرائن المياه معادة التكرير، إلى أربعة مستويات لمعالجة المياه المعاد تدويرها. ثالثية معقّمة (تكافئ الدرجة A)، ثانوية معقّمة 2.2/100 ml قولونيات إجمالية (تكافئ الدرجة B مع إزالة شديدة للقولونيات)، ثانوية معقّمة 23/100 ml قولونيات إجمالية (تكافئ الدرجة B مع إزالة شديدة للقولونيات)، وثانوية غير معقّمة (تكافئ الدرجة C). تشير المعالجة الثالثية المعقّمة إلى مياه صرف مؤكسَدة (معالجة ثانوية) تم تخثيرها وإمرارها عبر تربة طبيعية لم تعانِ من أيّ إخلال، أو عبر طبقة من أوساط ترشيح بمعدل لا يتجاوز 5 gpm/sq ft، أو لا يتجاوز 2 gpm/sq ft في مرشح غسيل مرتدّ لجسر متحرِّك أوتوماتيكي. يجب أن لا يتجاوز طرح المرشح قيمة متوسط يبلغ 2 NTU خلال 24 hr، وأن لا يتجاوز طرح المرشح قيمة 5 NTU لمدة 15 min، وألا يتجاوز قيمة 10 NTU على الإطلاق. يجب أن لا تتجاوز مياه الصرف المارة عبر أغشية الترشيح الميكروي، وفوق الميكروي، والنانوي، أو التناضح العكسي قيمة NTU 0.2لأكثر من 15 min، وألا تتجاوز مطلقاً 0.5 NTU. يجب أن توفر عملية التعقيم بالكلور التي تعقب الترشيح قيمة CT (ناتج متبقي الكلور الإجمالي وزمن التّماس المُشْتَرَط والمقاس في النقطة نفسها) لا تقل عن 450 mg/l في كل الأوقات مع زمن

تماسّ مشترط لا يقل عن 90 min، وذلك استناداً إلى انسياب تصميم طقس جاف أو على عملية تعقيم أظهرت أنها عند ترافقها مع الترشيح، قد عطّلت و/أو أزالت من الوحدات المكوّنة من صفائح ما مقداره 99.999% مـن F- بـاكتريوفيج MS2، أو فيروس شلل الأطفال في مياه الصرف.

ينبغي ألا يتجاوز متوسط الـ 7 أيام (4 عينات من أصل 7) لبكتيريا القولونيات الإجمالية في التدفّق الخارج المعقم من قيمة (MPN) 2.2/100 ml كما ينبغي ألا يتجاوز عدد بكتيريا القولونيات الإجمالية قيمة (MPN) 23/100 ml في أكثر من عينة في أيّ فترة تمتد لثلاثين يوماً. لا يسمح بوجود أيّ عينة تتجاوز البكتيريا القولونيات الإجمالية فيها قيمة (MPN) 240/100 ml. زمن التّماس المشترط هو تلك المدون منذ الزمن الفاصل بين زمن حقن صبغة القفاء في التدفّق الداخل وزمن ملاحظة أعلى تركيز للقفاء في التدفق الخارج من الحجرة.

لا تفترض متطلبات نوعية المياه لإعادة استعمالها في أيّ ولاية، إزالة المغذيات خلال معالجة مياه الصرف، غير أن لإزالتها بعض المزايا المتعلقة بقضايا نوعية المياه. إن تطبيقات إعادة استعمال المياه للري مقيدة نتيجة امتصاص المحاصيل للنتروجين، وتسمح معالجة مياه الصرف باستخدام إزالة النترتة بمعدلات تطبيقات أوسع لتخفيف تراكم ملوحة التربة وقد تحد من متطلبات الطّرح المفرط للمياه. كما قد تحسن إزالة النترتة نوعية المياه المُعاد استعمالها وذلك عبر تحسين أداء المروّق النهائي، ما ينتج منه مستويات عكورة أخفض. تخفّف إزالة الفوسفور والنتروجين من نمو الطحالب في خزانات التخزين الكبيرة بدون أن تلغيه.

تعتبر الملوحة مشكلةً مؤرّقةً في كافة المناطق الجافة أو شبه الجافة التي تستخدم مياهاً معادة التدوير. تزداد الملوحة بإعادة استخدام المياه للشرب وللأغراض الزراعية، متسبِّبةً بتراكم الملح في الترب وتجهيزات المياه.

يتسبب الإنتاج الزراعي المتزايد، واستخدام مزيلات عسرة المياه، والمواد الكيميائية المُستخدمة في المعالجة، بملوحة متزايدة في المياه معادة التدوير. تطرح مركَّبات ذاتية التشكُّل لإزالة عسرة مياه المساكن نفاية مياه مالحة مباشرة في نظام المجارير. تتباين المواد الكيميائية المُختارة لمعالجة مياه الصرف في مقدار إسهامها بزيادة الملوحة، فمثلاً، تسهم الكلورة باستخدام هيبوكلوريت صوديوم بأملاح صوديوم، على خلاف الكلورة بالغاز أو التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية. تميل الإزالة الفيزيائية لفائض الأملاح في المياه معادة التدوير أن تقتصر على استصلاح المياه بسبب الكلفة العالية المتضمنة في معالجة التناضح العكسي.

تخدم التقارير الهندسية كتقارير تصميم أولية، وتشترط معظم الولايات تقديمها للحصول على تراخيص للمياه معادة التدوير لأنظمة معالجة جديدة أو موسّعة، وقد تطلبها مرافق مائية قائمة تنتهك شروط الترخيص، أو تنتهك معايير نوعية المياه. تسمح بعض الولايات بتقارير موجزة لأنظمة ريّ واستعمال الأراضي بمعدلات منخفضة. يدرج الجدول 14-3 موجزاً لمتطلبات التقرير، تم جمعُها من متطلبات كاليفورنيا، وأريزونا، وفلوريدا.

14-2 الريّ الزراعي

إن إعادة استخدام المياه زراعياً ذات فوائد، نظراً إلى أن متطلبات معالجة مياه الصرف بحدّ ذاتها تكون غالباً معتدلة، ومياه الصرف تحتوي مغذيات نباتية ومحسنات تربة. وقد تكون المناطق الزراعية قريبة من محطات المعالجة، فيتم كسب إيرادات من خلال زراعة محاصيل يسهل بيعها. وفي الأقاليم الجافة، قد تكون مياه الصرف هي المصدر الوحيد للمياه المتوفرة. فالمياه التي لم تفقد بالتبخر والنتح تتغلغل إلى المياه الجوفية أو تنساب إلى مناطق تجميع سطحية بدون طرح من موقع الري. وهذا يتفق مع تعديلات وثيقة المياه النظيفة CWA لعام 1987 لتشجيع الطّرح الصفري. إن مشاكل التلوّث الرئيسة هي تغلغل النترات إلى المياه الجوفية، والاحتفاظ بالمعادن الثقيلة في التربة، والأخطار الممرضة تجاه عمّال المزارع.

جدول 3-14: موجز محتويات تقرير هندسي مطلوب لمياه معادة التدوير (معتمد من قبل ولايات أريزونا[4]، كاليفورنيا[5]، وفلوريدا[6])

متطلبات استخدام الأرض	وصف قانوني للملكية
	خريطة تظهر الموقع ومسافات مناطق التجميع، الاستخدام الراهن للأرض، والاستخدامات المخطّطة للأرض
	كافة آبار مياه الشرب وغير القابلة للشرب، وآبار المراقبة مرفقة بمعلومات عن ملكيتها
	المياه السطحية ووصوفات تتعلق بتصنيفها، واستخداماتها المفيدة، ومسافاتها عن الموقع
معلومات الترب	خريطة ترب تظهر أنواعها
	الخصائص الفيزيائية لكل تربة ولكل طبقات ما تحت التربة، الناقلية الهيدروليكية لتدعيم حمولة التصميم ومعدلات الاستعمال
	العمق إلى المياه الجوفية
مسح هَيدروجيولوجي	بيانات ضرورية لتقويم قدرة أداء الموقع متضمناً حالات الفيضان والجريان السطحي
	خطة مقترحة لمراقبة المياه الجوفية
	اتجاه ومعدّل حركات المياه الجوفية القائمة
	من أجل تخزين الحامل المائي ومشاريع استرداد المياه، ينبغي أن يعالج التقرير المواد الصلبة المُذابة الإجمالية الراهنة والمستقبلية
نظام إدارة الأراضي	برنامج إدارة تربة – غطاء نباتي راهن ومستقبلي، وبيانات ووثائق أخرى للتحقّق من امتصاص المحاصيل، ومغذيات المياه المعاد تدويرها، ومعدّل النتح، والكميات المسموح بها من الأملاح، ومستويات سميّة الملوّثات، والحصاد المتوقع للمحاصيل
	تواتر الحصاد، وطول مواسم التشغيل، وفترات ومعدلات الاستعمال، وفترات الراحة والجفاف، والاستخدام النهائي للمحاصيل
	خطط التخزين، وإعادة الاستخدام، وطرح المياه المستصلحة، أو التدفّق الخارج خلال إزالة المحصول، والطقس الرطب، ومكافحة الآفات، وتعطّل المعدات، أو أيّ ظروف أخرى تعيق استخدام الأراضي

تقويم المشروع	تقويم التأثير طويل الأمد الشامل للمشروع في المصادر البيئية في المنطقة: تغيرات في مستوى المياه، ومعدّل واتجاه حركة المياه المستصلحة المُستخدمة، وتغيرات نوعيّة المياه في المنطقة المترافقة مع المشروع
	تقويم المعالجة المسبقة للمشروع
	تقويم خصائص المياه المستصلحة : فيزيائية، كيميائية، والتراكيز الحيوية، وأنماط الانسياب (متوسط، ذروة، انسياب أدنى في أثناء المواسم الرطبة والجافة)، وعمليات وحدة المعالجة، حمولات هيدروليكية وعضوية ومغذيات (متوسطة، ذروة، منخفضة)، وتراكيز المياه المستصلحة المتغلغلة إلى المياه الجوفيّة أو المطروحة إلى المياه السطحيّة، واستراتجيات التشغيل والمراقبة والتحكّم
للمشاريع التي تتضمن إعادة تغذية المياه الجوفيّة	زمن الانتقال من نقطة الطّرح إلى نقطة الإزالة لأغراض مياه الشرب
	تحليل تراكمي للمياه الجوفية
	تقدير التأثير في مستويات المياه، ومستويات المياه السطحيّة، ونوعيّة المياه الجوفيّة، ونوعيّة المياه السطحيّة، واستخدامات الممتلكات في المنطقة

وتخزين المياه مطلوب لموازنة التجهيز والاحتياج من أجل الريّ. وبينما يكون التجهيز بمياه الصرف مستمراً، فإن الطلب على مياه الريّ يعتمد على موسم النمو، والمحاصيل، ومعدّلات الاستعمال، والظروف المناخية. يجب أن يضمن التخزين استخداماً للري من دون فيضان في أثناء انسيابات الذروة أو في الطقس الرطب. يكون الحجم في أقصاه في الأقاليم الشمالية الرطبة. وتَستخدم بعض المحطات احتياطات المخزون لمعالجة إضافية، ولإزالة المُمرضات، ولمنع الطّرح. يتم توزيع المياه بواسطة الانتشار السطحي أو بواسطة معدات الترذيذ الثابتة والمتحرّكة. وعلى الأراضي المنبسطة، ذات انحدار لا يتعدى 1%، يمكن الريّ بواسطة طريقة المتون والأخاديد. حيث ينساب المياه المصبوب في الأخاديد عبر الثقالة ويرشح ضمن الأرض. يَستخدم ريّ مناطق الأشرطة الحدودية بين الأراضي، متوناً

متوازية في التربة أُنشِئت باتجاه المنحدر. ينساب المياه المصبوب بين المتون لدى النهاية العلوية للمنحدر، إلى أسفل الشريط الذي يتراوح عرضه بين 20 ft و100 ft. يمكن لأنظمة الترذيذ أن تكون ثابتة أو من نمط المحور المركزيّ. تربط البزابيز الثابتة برأسيات مرتفعة عن الأرض بمقدار 2 ft إلى 6 ft. يستخدم نظام الريّ المحوري المركزيّ بزابيز مرتبطةً بذراع ترذيذ طويل يدور حول برج مركزيّ بحيث تكون أنابيب التوزيع معلّقة بين دعائم العجلة. يحافظ على الجريان السطحي الذي يجمع في نقطة تقع أسفل المنحدر أو يُعاد للري.

تُقدَّر معدَّلات الحمولة عبر قيم حدّيّة هيدروليكية، عضوية، وأخرى للمغذيات وللملوحة. قد تحدّ معدلات الحمولة الهيدروليكية بحدود رقمية موضوعة من قبل الولاية أو من خلال القيود المفروضة لمنع تفكك التربة نتيجة تغلغل المياه الجوفية. تحدّ بعض الولايات الحمولة الهيدروليكية بـ 2.0 in إلى 2.5 in في الأسبوع، وترفعه ولايات أخرى إلى 4.0 in في الأسبوع. يتطلب التغلغل الصفري للمياه الجوفية حمولةً تقتصر على امتصاص المحصول وحيزاً آخر مخصصاً للنتح. يتطلب الأمر خلفيةً عن نوعية المياه الجوفيّة، ونمط المحصول، وطريقة الريّ، وذلك للمساعدة في وضع معدَّلات الحمولة القصوى. تعتمد معدَّلات الحمولة العضوية على توفير نشاط حيوي للمحافظة على ظروف هوائية في الطبقة العليا للتربة. لقد حدَّدت إحدى الولايات حمولة COD لدى قيمة 50 lb/ac/day. تتضمن حمولة المغذيات عادةً كُلاً من الفوسفور والنتروجين، حيث يُعتبر النتروجين العامل المحدّد. لقد حُدّد نتروجين النترات بما دون 10 mg/l وذلك لحماية المياه الجوفية والسطحية كمصدر لمياه الشرب. تعيق الملوحة النشاط الحيوي في التربة، كما تؤثر في نمو النبات، ويمكن للجريان السطحي أن يتسبب بتردي نوعية المياه السطحية. ويُستَدل على الإجهاد الملحي في النبات بحصاد أجزاء النبات كالبذور، والجذور، والثمار، والأوراق. تبدي النباتات متوسطة التحمل للملوحة تأثيراً بأقل من 10% لدى تراكيز كلور تصل إلى 400 mg/l. تتراوح التراكيز المستهدفة للكلور بين 100 و 200 mg/l بقيم ذُرى تصل إلى 400 mg/l، و600 mg/l للنباتات عالية التحمل للملوحة.

ري زراعي مقيّد

تمثّل إعادة استعمال المياه في ريّ المحاصيل العلفية، والليفية، والبذرية أقل فرص التّماس البشري ومن ثم تسمح بأدنى متطلبات المعالجة تشدداً، حيث يتم المحافظة على وجود مناطق عازلة وفرض قيود على وصول العامة. تتباين متطلبات المعالجة ومتطلبات نوعية المياه بشكل كبير في ما بين الولايات، من معالجة بالأهوار إلى المعالجة الثانوية مع تعقيم. تتطلب ولاية كاليفورنيا حداً أدنى للمعالجة يتضمن ترسيباً أولياً مع تعقيم (23/100 ml قولونيات برازية) لعلف وألياف وبذور رعي الماشية المدرَّة للحليب. تتطلب فلوريدا معالجةً ثانوية مع تعقيم ونوعية تدفُق خارج ذات BOD 20 mg/l، وSS 20 mg/l، ومتبقي كلور قدره 0.5 mg/l، وحدود للقولونيات البرازية قدرها 200/100 ml، تتطلب معظم الولايات معالجةً ثانوية حيويةً (يتراوح الـ BOD بين 20 و75 mg/l وSS تتراوح بين 10 و90 mg/l)، وحدود قولونيات برازية (23/100 ml إلى 2000/100 ml تبعاً لنطاق العزل)، ومناطق عزل لحماية التجهيزات بالمياه، والبحيرات وسكنى البشر. هناك معالجات إضافية ومتطلبات تعقيم أو قيود على مراعي الحيوانات اللبونة. يتم التخزين على أساس الزمن الأدنى للاحتفاظ، أو على أساس متطلبات موازنة المياه. تتطلب بعض الولايات تخزيناً لفترة من 0 إلى 7 أيام، في حين تتطلب ولايات أخرى فترة تخزين تتراوح من 45 إلى 150 يوماً والتي قد تُستخدم لمعالجة إضافية وإزالة المُمرضات.

ري زراعي غير مقيّد

يتضمن الريّ الزراعي غير المقيد للمحاصيل كلاً من المحاصيل الغذائية المُعالجة والغذاء الذي يؤكل نيئاً، مع النوعية المطلوبة للمياه اعتماداً على طريقة الاستعمال. يتطلب الريّ بالترذيذ درجةً عاليةً من استصلاح مياه الصرف أعلى من تلك المطلوبة للري السطحي. كما تتباين نوعية المياه المطلوبة للمحاصيل التي تنمو فوق الأرض وللمحاصيل الجذرية، ولتشكُّل الثمار على الأشجار. وبالرغم من تحذير الناس بعدم صلاحية المياه لأغراض الشرب، قد لا يكون الوصول إلى الموقع مُتحكَّم به. وبالرغم من أن ريّ المحاصيل الغذائية ممنوع في بعض

الولايات، إلا أنه يُنظَّم في ولايات أخرى على أساس حالةً بحالة. لقد نظَّمت وشرَّعت كولورادو وهاواي أكبر عدد من الاستعمالات باستخدام الريّ السطحي والريّ بالترذيذ، بما فيها الأغذية المعالجة، واستهلاك الأغذية النيئة، والبساتين والكروم، والمحاصيل الجذرية واللاجذرية. تتطلب ولايات أخرى معالجة أعلى تتراوح بين معالجة ثانوية مع كلوَرة للمعالجة بهدف إزالة المُمرضات باستخدام التخثّر والترشيح والتعقيم. والمعالجة الثانوية مع كلورة غير ملائمة لإزالة بيوض الديدان الطفيلية، والكييسات، والفيروسات من دون تخزين مناسب يلي المعالجة.

ومن أجل الأغذية التي تُؤكل نيئة، فإن معالجةً ثانوية مع إضافات كيميائية، وتخثّر، وترشيح، وكلورة باحتفاظ طويل تنتج مياهاً ذات 2.2/100 ml من القولونيات البرازية وعكورة دونNTU 2. تتطلب الأغذية المعالجة، معالجةً ثانوية مع حدود للقولونيات البرازية في حدود تتراوح بين 23/100 ml و1000/100 ml. توفر نطاقات عزل بين التجهيزات بالمياه المحلية والملكيات المجاورة، وذلك تبعاً للاستخدام. يتراوح التخزين المطلوب للاحتفاظ بين 5 و15 يوماً، أو يُحدّد اعتماداً على معدّلات الهطول المطري والحمولة. تعتمد معدّلات الحمولة على تغلغل نتروجين النترات بأقل من 10 mg/l، وامتصاص المحصول للمغذيات، وموازنة المياه، والمعدلات القصوى للحمولة في ما بين 0.5 و.in 4.0 في الأسبوع.

3-14 الريّ وإعادة استعمال المياه في المدن

تمثل استعمالات المياه في المدن كمية صغيرة من إعادة الاستخدام الإجمالي باستثناء المناطق الكبرى في المدينة حيث لا تتوفر خيارات أخرى. يتضمن الريّ في المدينة مضامير الغولف، والمناطق الخضر التي تتوسط الشوارع، والحدائق، وفي بعض المناطق، الباحات المنزلية الأمامية والخلفية. بعد المعالجة، تُحفظ المياه المُستصلحة لإعادة ضخها إلى نظام التوزيع والري. قد تحتاج المياه التي تراجعت نوعيتها في أثناء التخزين، لمعالجة إضافية لإزالة الطحالب، ولكلورة للمحافظة على متبقي كلور. يتم تمييز شبكة الأنابيب بأنابيب مرمَّزة لونياً أو باستخدام أنابيب

بلاستيكية أرجوانية اللون (أنابيب مياه الشرب تكون زُرْقاً أو بِيْضاً). والوصلات العرضية محظورة، أما الوصلات الأخرى فتُستخدم على نطاق ضيق. يجب عرض إشارات تحذير تدل على "ري بمياه صرف مستصلحة" بشكل بارز، ويجب أن يلصق بخراطيم الريّ إشارات تدل على أنها "مياه صرف مستصلحة، لا تشرب".

ري مقيّد في المدن

تمثل بعض المناطق في المدن كمضامير الغولف، والمقابر، والمناطق الخضر التي تتوسط الشوارع، خطر تعرضٍ محدود، نظراً إلى كون وصول العامة إليها محدود، إذ تُستخدم المياه خلال ساعات الليل فقط بدون انجراف هوائي للمياه، أو انحراف الجريان السطحي إلى المناطق العامة. وفي المناطق التي تجري فيها نشاطات بشرية قصيرة الأمد، مثل تلك التي تجري على مضامير الغولف، يجب أن يُسمح للغطاء النباتي أن يجف، وللمياه الفائضة أن تتغلغل في الأرض قبل بدء النشاطات. تفرض بعض الولايات حدوداً على إعادة الاستعمال غير المقيَّد لمياه الصرف في ريّ مضامير الغولف.

تتطلب ولايات كاليفورنيا، وكولورادو، وهاواي معالجة ثانوية مع كلورة للوصول إلى حدود القولونيات البرازية البالغ 23/100 ml. تتطلب فلوريدا درجةً أعلى من المعالجة مع تخثّر، وترشيح، وتعقيم إلى حدود 25/100 ml. تسمح بعض الولايات بمعالجة برك استقرار مع وضع حدود تبلغ 20-30 mg/l للمواد الصلبة المعلّقة. وقد يتطلب الأمر معالجةً إضافيةً في نقطة استعمال المياه وذلك لإزالة المواد الصلبة التي يمكن أن تسدّ البزابيز، والكلورة لمنع النمو في نظام الري.

يعتمد التخزين على زمن الاحتفاظ أو موازنة المياه. خلال فترات عدم الري، يمكن استخدام المياه المستصلحة لأغراض أخرى ملائمة لدرجة المعالجة. معدّلات الحمولة، عندما تكون محدّدة، عادةً أقل من 2.5 in. في الأسبوع، ولكنها تتوقف على الغطاء النباتي وظروف الطقس.

ريّ وإعادة استخدام غير مقيّد في المدن

يتضمن الريّ غير المقيد الحدائق، والملاعب، وباحات المدارس، والمناطق السكنية، والمناطق التجارية. تتضمن استعمالات مدنية أخرى، كشطف المراحيض، ومكافحة الحرائق، وأعمال البناء. وبالرغم من أن مزود المياه قد يكون متحكماً بأوقات تقديم المياه، ويحد من التعرّض للمياه في أوقات تقديم المياه ليلاً، إلا أن تعرض العامة متوقع، وقد يتناول الأطفال شيئاً من هذه المياه. يجب أن تكون المياه المُعاد استعمالها بشكل غير مقيّد خالية من المُمرضات، ما يتطلب درجة عالية من المعالجة والتعقيم.

تتطلب كاليفورنيا معالجة ثانوية مع تخثّر، ترشيح وكلورة مع زمن احتفاظ طويل، ومقداراً من القولونيات البرازية أقل من 2.2/100 ml، وعكورة أقل من 2 NTU. ولفلوريدا متطلبات المعالجة نفسها لاستعمالات مقيَّدة وغير مقيَّدة. وتتطلب ولايات أخرى معالجةً ثانوية مع تعقيم على الأقل مع تخزين في هور بزمن احتفاظ يتراوح بين 15 و150 يوماً.

4-14 المياه الرمادية وإعادة استعمال مياه الصرف الصناعيّ

المياه الرمادية من المناطق السكنية هي مياه صرف ناتجة من غسالات الملابس، وأحواض الاستحمام، ودوشات الاستحمام، والبالوعات التي تجمّع مياه صرفها بشكل مستقلٍّ عن مياه صرف المراحيض، وجلايات الصحون، وبالوعات المطبخ. أما المياه الصناعية الرمادية فتشير إلى مياه صرف متأتّية من عمليات التصنيع، والتي قد تتطلب أو لا تتطلب معالجةً من أجل إعادة الاستعمال ضمن مرفق التصنيع أو في ريّ محاصيل أو مساحات خضر ضمن ملكية خاصة. ومن الضروري فصل المرافق الصحية والعمليات الصناعية لتفادي تلوّث مياه الصرف الصناعيّ بالمُمرضات البشرية. ولا تعتبر المياه الرمادية قابلةً للاستعمال، ولكن جزءاً من استخدام الصناعة لإعادة التدوير الداخلي ينساب إلى برنامج المحافظة على المياه.

تشكِّل استخدام المياه 6% من الاحتياج الإجمالي للمياه، بما في ذلك توليد الطاقة (47%)، الاحتياج الصناعيّ الإجمالي واحتياج توليد الطاقة للمياه يبلغ حوالى 53% من الاستخدام الإجمالي للمياه. وعموماً تُستعمل المياه المُعاد استعمالها كمياه تعديلية في أبراج التبريد حيث توجد بواعث قلق، كنمو الطحالب، وتشكِّل القشور، والتآكل وتشكِّل الرغوة. وهي أمور مدعاة قلق عام في أيّ تجهيز بالمياه ويتم التحكُّم بها باستخدام معالجة مسبقة فيزيائيِّة - كيميائية ومضادات حيوية. يتم مكافحة العسرة وتراكم الأملاح باستخدام مياه مخفَّفة (إضافات إلى الاحتياج العام)، وبمعالجة مسبقة باستخدام التناضح العكسي. وللاستعمالات الصناعية كتلك المتعلقة بصناعة النسيج أو عجينة الورق والورق متطلبات خاصَّة لنوعية المياه اعتماداً على الاستخدام والقيود على الأملاح المُذابة واللون. ولبعض الولايات متطلبات معالجة للمياه المعاد استعمالها في التطبيقات الصناعية الشائعة. فهاواي مثلاً، تتطلب أن تكون المياه المُستخدمة في التبريد فد خضعت لمعالجة ثانوية مع تخثّر وترشيح وكلورة إلى 2.2/100 ml من القولونيات البرازية مع معقِّمات إضافية للقضاء على الليجيونيللا والكيبسيلا. ولأغراض صناعية غير متضمَّنة في إنتاج المواد الغذائية، تُستخدم معالجة ثانوية بما فيها الكلورة للوصول إلى حد للقولونيات البرازية يبلغ 23/100 ml. تميل عمليات المعالجة أن تكون فيزيائية - كيميائية (إزالة المواد الصلبة)، غير أنها يمكن أن تتضمن عمليات معالجة حيوية. واعتماداً على استخدام المياه ونوعيتها، قد يتطلب الأمر تخفيف المواد الصلبة المعلّقة، والمواد الصلبة المُذابة، واللون. وتماثل عمليات كالتعقيم والترشيح الغشائي نظيراتها المُستخدمة في معالجة مياه الصرف. علاوة على كل ذلك، قد تتطلب نوعية المياه مزجاً وخلط مصادر المياه للإيفاء باحتياجات التصنيع.

تتضمن استعمالات المياه التي تتطلب معالجة مياه الصرف، مياه ريّ المسطحات الخضر، ومياه سدادات الإحكام للمضخات، ومياه الغسيل، ومياه تخفيف البوليمير، ومياه التعديل الحراري في أبراج التبريد، ومياه الوقاية من الحرائق. تقع منشآت معالجة مياه الصرف تحت متطلبات إعادة الاستعمال الصناعيّ بسبب الوصول المحدود من قبل العامة. تتباين متطلبات المعالجة لكل استخدام بدءاً من

إزالة المواد الصلبة إلى التعقيم عالي المستوى. قد تُستخدم مرشحات صغيرة حجم الحشوة، وقد تُستخدم خزّانات تماس مع الكلور بجانب التدفّق الخارج من المحطة وذلك للاحتياجات المائية ضمن المحطة ذاتها.

الجدول 14-4: اعادة شحن المياه الجوفية في فلوريدا واستخدامات معدل الارض السريع (Rapid Rate) لاعادة استخدام مياه الشرب غير المباشر

نمط نظام إعادة الاستخدام	متطلبات المعالجة ونوعية المياه
حقن إلى المياه الجوفيّة (TDS<3000 mg/l)	معالجة ثانوية وترشيح
	متوسط TOC 3 mg/l، حد أقصى 5 mg/l
	متوسط TOX 0.2 mg/l، حد أقصى 0.3 mg/l
	الإيفاء بالمعايير الأولية والثانوية لمياه الشرب
	تعقيم مياه الشرب
	متوسط نتروجين إجمالي > 10 mg/l
	يتطلب الأمر تقييم إزالة الفيروسات المعوية، والكريبتوسبوروديوم، والجيارديا، والديدان الطفيلية لإظهار معالجة خالية من المُمرضات (الإظهار أدنى من الاكتشاف)
	تتطلب آبار المياه الواقعة ضمن ميل واحد من بئر الحقن معالجة تناضح عكسي كحاجز متعدد للمركبات العضوية والمُمرضات
حقن إلى المياه الجوفيّة (TDS>3000 mg/l)	معالجة ثانوية وترشيح
	الإيفاء بمعايير مياه الشرب الأولية والثانوية
	تعقيم مياه الشرب
	نتروجين إجمالي متوسط > 10 mg/l
أحواض ترشيح سريع	معالجة ثانوية ومستويات تعقيم أساسيّة قبل نشر المياه المعالجة
	تركيز النترات > 12 mg/l
	الطرح > 10mg/l من المواد الصلبة المعلقة إلا إذا كان حقل الامتصاص ونظام الاستعمال والتوزيع مصمم لمرونة ووثوقية محدّدة
	نظراً إلى القدرة المحدودة نوعاً ما لإعادة تجديد المياه المستصلحة، ينبغي أن تفي المعالجة المقترحة بمعايير المياه الجوفيّة لدى حافة نطاق الطَّرح

	حقل امتصاص مصمم ومشغل كي يعوق الظروف المشبعة عند سطح الأرض
	ينبغي وضح معدّلات التحميل اعتماداً على اختبارات التغلغل وهـي محـدّدة بمعدلٍ سنوي قدره 3 in./day أو 1.9 gpd/sq ft لايسمح للمعدلات بتجاوز 9 in./day (5.6 gpd/sq ft)، تتراوح فترات الحمولة الهيدروليكية بين 1-7 يوم، مع فترات راحة تمتد بين 5-14 يوم، وذلك لتجفيف قاع الخلية ولـلـتمكن من تنظيفه، وإلا فإنّه من الضروري إزالة المواد الصلبة المترسبة
أحواض ترسيب سريع مع شروط هيدرولوجية غير مرغوب بها	معالجة ثانوية وترشيح
	تعقيم عالي المستوى
	الإيفاء بالمعايير الأولية والثانوية لمياه الشرب
	نتروجين إجمالي متوسط < 10 mg/l
صرف إلى المياه السطحية مستخدم لتجهيز مياه الشرب	معالجة ثانوية وترشيح
	الإيفاء بالمعايير الأولية والثانوية لمياه الشرب
	تعقيم مياه الشرب.
	نتروجين إجمالي متوسط < 10 mg/l

(معدّلة من مجموعة القوانين الإدارية لفلوريدا، 2001، الجزء الرابع، لإعادة تغذية المياه الجوفية، والاستعمال غير المباشر لمياه الشرب).

5-14 أعمال البناء واستخدامات أخرى للمياه المعاد استعمالها

إن أوسع تطبيقات المياه المعاد استعمالها في قطاع البناء تتركز في مكافحة الغبار، وتتضمن الاستخدامات الأخرى رصّ التربة، والريّ، وخلط الإسمنت. تتباين متطلبات المعالجة بتباين طريقة الاستعمال واحتمال التّماس مع العامة. ويبين الجدول 2-14 اعتبارات أخرى لمتطلبات المعالجة تحت أنماط غير مدرجة في الجدول لإعادة استعمال المياه بشكل مباشر. تتضمن استخدامات أخرى لإعادة استعمال المياه، شطف المراحيض ومبولات مكاتب الأبنية متعدّدة الطوابق.

لقد قامت مقاطعة إيرفين رانك المائية في أورانج كاونتي، بكاليفورنيا، بتشغيل مرافق إعادة استخدام المياه على مدى يزيد على 30 عاماً. يُستخدم معظم المياه المعاد تدويرها في المدن، والمسطحات الخضراء، وريّ المحاصيل، ولكن بسبب نقص المياه، فإن العديد مكاتب الأبنية متعدّدة الطوابق الجديدة، ذات تمديدات صحية مضاعفة وذلك لشطف المراحيض باستخدام مياه معاد تدويرها.

6-14 إعادة تغذية المياه الجوفيّة والتجهيز بمياه الشرب

قد تنتج إعادة تغذية المياه الجوفية عن ارتشاح سطحي أو حقن مباشر. تميز ولاية فلوريدا بين حقن مياه جوفية، وطرح إلى مياه سطحية تُستخدم لتجهيزات بمياه الشرب، وارتشاح سريع، كما هو مبين في الجدول 14-4. إن الطّرح إلى مياه سطحية تستخدم لتجهيزات مياه الشرب، موضوع مازال قيد المعالجة والدراسة في كثير من الولايات.

يعمل الارتشاح على مبدأ الملء والتصريف، حيث يتمّ إضافة المياه حتى عمق 3-5 ft (1 إلى 2 mm) ويُترك ليتغلغل في الأرض. تُترك الطبقات لتجف، الأمر الذي يخفِّف حدّة القضايا المزعجة كمشاكل الرائحة والبعوض. لا تُستخدم طبقات الارتشاح لزراعة المحاصيل، ويتم تحريكها من مكانها بشكل دوريٍّ لتكسير وإزالة أيّ مواد صلبة سطحية يمكنها تقليل معدّل الارتشاح. تتضمن الآليات الرئيسة، التطاير، والتفاعلات الكيميائية والحيوية، وهطول مطريّ وامتزاز معادن، وجذبها من قبل أمِّية التربة والرمل. تحدث معظم المعالجة والإزالة في أعلى 6 ft لبروفيل التربة (نطاق المياه الضحلة).

تعتمد درجة المعالجة على نمط استعمال المياه في التربة، وتشكيلات الترب، وكيميائيتها، وعمق الوصول للمياه الجوفية، والتخفيف المتوفر، وزمن المكوث حتى استخلاص المياه. يزيل الترشيح الفيزيائي في حوض الارتشاح، البكتيريا والطحالب. تحطم التفاعلات الحيوية المواد العضوية وتخلق ظروفاً للنترتة وإزالة النترتة في النطاق غير المشبع وفي السويات العليا للحامل المائي. يزيل الهطول المطري، والتبادل الكاتيوني والامتزاز كلاً من الفوسفور والمعادن والصوديوم. يعتمد بقاء الفيروسات والمُمرضات على ظروف التربة ومعدلات الارتشاح. ويقلّل التشغيل السليم، متضمناً التجفيف، وزمن الاستراحة، وزلق القرص، من مخاطر الانسداد الناتج عن الإجهاد السطحي للبكتيريا والطحالب.

لقد درست هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، ومصادر مياه كاليفورنيا النقل الغروّي تحت أحواض إعادة التغذية بالقرب من ويتيار ناروز في جنوب وسط مقاطعة لوس أنجلوس. وتقوم منذ 1961 حتى الآن، أحواض ترشيح كبيرة (حقول انتشار) بإعادة تغذية المياه الجوفية. ونظراً إلى الانسياب الضعيف خلال الصيف، ينتج من ذلك جداول يغلب عليها التدفّق الخارج، ما يتطلب معالجةً تصل إلى نوعية مياه معاد تدويرها، قبل طرحها. تمتزج المياه المعاد تدويرها مع انسياب الجدول وترتشح إلى المياه الجوفية تحت ظروف الإشباع. لقد كان الهدف من الدراسة في ويتيار ناروز هو العثور على قفاءات في المياه المستصلحة والتي يمكن استعمالها كمقياس كمّيٍ لتوزّع المياه المستصلحة ضمن الحامل المائي.

يشرح تحليل التريتيوم/ هليوم-3 والفريون الطيف الواسع لبيانات نوعية المياه الملاحظة في الآبار المنتجة العميقة القريبة جداً من أحواض الارتشاح. تمتد إعادة التغذية إلى عمق بضعة أقدام فقط ثم تمتد أفقياً بسبب الحركة السريعة للمياه الجوفية. تتطلب السويات المرتفعة للكلورفلوركربون في الآبار مع تريتيوم/ هليوم-3، معالجةً أقل، أو أساليب وممارسات بيئية مخفَّفة في السنوات الأخيرة. لقد دلّ تحليل الفريون كمؤشر للمياه على جبهة المياه المستصلحة في أثناء تقدمها عبر المياه الجوفية. يدلّ بحث إضافي منجز إلى حدوث إزالة 7-log تحت سطحية في ما دون 150 ft(50 m) من مستوى انتقال المياه الجوفية.

يمكن لنوعية المياه الجوفية أن تُقسم وفق مستوى (TDS). يقع معيار مياه الشرب الثانوي الوطني لـــ (TDS) بين 0 و500 mg/l. ويمكن معالجة المياه الجوفية التي يكون فيها الـــ 3000 mg/l< (TDS) ، وذلك لخفض (TDS) إلى مستويات قابلة للشرب. وتُضاف المعالجة المطلوبة قبل توزيع مياه الشرب إلى المعالجة المطلوبة قبل الحقن.

يجب أن يفي الحقن المباشر إلى مياه جوفية تحوي 3000 mg/l < (TDS) أو يتجاوز معايير مياه الشرب التي خضعت لأعلى درجة من معالجة مياه الصرف.

ولبلوغ نوعية مياه الشرب، تتطلب المعالجة عمليات حيوية، وكيميائية، وفيزيائية، لاستصلاح المياه وإزالة المُمرضات والمركّبات العضوية. تتضمن المعالجة إزالة كافة الأملاح اللاعضوية لتقليل تركيز (TDS)، إضافة إلى تقليل الملوحة.

يظهر الشكل 14-9 مخطط عمليات المعالجة المتقدّمة المُستخدمة في مصنع مياه 21 في جنوب كالفورنيا. توجد مُمرضات مكروبية، كالطفيليات والبكتيريا والفيروسات والمواد الكيميائية كالمواد العضوية والصيدلانية والمركّبات اللاعضوية، في المياه المعالجة، ولكن وجودها وتراكيزها في مياه الصرف المعالجة تتفاوت بشكل كبير. يتطلب اختبار الفيروس تحديد تراكيزها في الأحجام الكبيرة والتي تصل إلى 100 وحتى 1 400، وسيكون من الصعب العثور على فيروسات في مياه معالجة إلى حد بعيد. يعتمد اختبار المعالجة على مياه صرف مستزرعة بفيروسات مخفّفة، بحيث يمكن تقدير تراكيز فيروسات التدفّق الخارج، وكذلك تقدير إزالتها. تُستخدم العضويات والمواد الكيميائية الدّالة للتعبير عن درجة المعالجة. تُستخدم مقاييس القولونيات البرازية الإجمالية لتقدير فاعلية المعالجة الثانوية والثالثية.

إن استخدام القولونيات الإجمالية أكثر تحفظاً من استخدام القولونيات البرازية. وبالرغم من أن عدد هذه العضويات قد لا يمكن مقارنته وربطه بالمخاطر المرضية أو بتراكيز الفيروسات. وتعتبر العضويات مؤشراً على درجة المعالجة، نظراً إلى عدم وجود بكتيريا وفيروسات في المياه المستصلحة. كما يعتبر (TOC) مقياساً للكمية الإجمالية للكربون المتأتي من مصادر عضويّة ويتضمن مركّبات عضوية طبيعية وصنعية. تُستخدم الهاليدات العضوية الإجمالية (Total Organic Halides (TOX) و(TOC) كمقياس لإزالة المركبّات العضويّة.

تتطلب دائرة صحة كاليفورنيا تضمين مشاريع إعادة تغذية المياه الجوفية، متوسطاً أقصى لاستخلاص المياه المستصلحة قدره 50% على مدى خمس سنوات،

وحداً أدنى قدره 20 ft (6.5 m) للمسافة الشاقوليّة بين السطح ومناسيب المياه الجوفيّة، وحداً أدنى قدره 300 ft (100 m) للمسافة الأفقيّة بين حوض التغذية وآبار الاستخلاص، وحداً أدنى قدره 12 شهراً لزمن الاحتفاظ.

لقد شكَّل المجلس الوطني للأبحاث (NRC) لجنةً في عام 1996 لتقييم القضايا المتعلقة بتوفير ومضاعفة التجهيزات بمياه الشرب عبر المياه المستصلحة. لقد كان القصد من تقرير نُشر عام 1998 مساعدة التجمُّعات السكنية لاتخاذ قرارات لحماية التجهيزات بمياه الشرب[9]. يتضمن توفير وإكثار التجهيزات بمياه الشرب الحقن المباشر للمياه المستصلحة في حامل مياه الشرب أو الطّرح إلى مناطق تجميع المياه السطحية بتخفيف محدود. وتبقى هذه الاستخدامات استخدامات غير مباشرة بسبب امتزاج المياه الطبيعية، والفصل الزماني والمكاني بين الطّرح وسحب المياه القابلة للشرب. أما إعادة الاستعمال المباشر كمياه شرب فهو التوزيع الفوري للمياه المستصلحة في نظام توزيع مياه الشرب. إن إعادة الاستعمال المباشر كمياه شرب غير مطبّقة في الولايات المتحدة.

ينصّ تقرير (NRC) على وجوب استخدام أفضل مصدر مياه متوفِّر، كمصدر لمياه الشرب. وفي بعض أجزاء الولايات المتحدة التي غدت فيها مصادر المياه ذات النوعية الجيدة، نادرةً، أفادت اللجنة بأن إعادة استعمال مياه الشرب بشكل غير مباشر ومخطط له، قابلةً للتطبيق، إنما بعد مراقبة شاملة ودقيقة للملوّثات، واختبار الصحة والأمان والتركيز على قضايا وثوقيَّة المعالجة، والتي تتضمن المكوِّنات الكيميائية، والملوّثات المكروبية، وتقويم التأثيرات الصحية المحتملة. وإعادة استعمال المياه بشكل غير مباشر ومخطط له ضمن تجهيز بمياه الشرب، يجب اعتبارها فقط بعد إنجاز وتطبيق أساليب المحافظة على المياه، واستعراض مصادر أخرى للمياه، وتقييم إعادة استعمال مياه غير قابلة للشرب لتحل محلّ الاستعمال الراهن للمياه القابلة للشرب.

7-14 تصميم أنظمة الري

إن التصميم الموصى به لنظام ريّ هو العملية التكرارية الموضَّحة في الشكل 14-2. والخطوة الأساسية في التصميم هي تحديد خصائص مياه الصرف، ونوعية التدفُّق الخارج، وظروف الموقع. لقد أُرسيت الحدود التنظيمية لنوعية التدفُّق الخارج بهدف حماية المياه الجوفية، والمياه السطحية، وتعرُّض العامّة للمياه. تتضمن العملية التكرارية لتقدير المساحة الحقلية المطلوبة للريّ، اعتماد الارتباط بمعدل الحمولة الهيدروليكية، ومعدل حمولة النتروجين، وحجم تخزين المياه، واختيار المحصول. أما طريقة مراقبة نظام توزيع المياه، وضبط التصريف، والإدارة الزراعية فهي اعتبارات نهائية.

يتم تقدير مساحة الحقل المطلوبة للري، إما بالحمولة الهيدروليكية أو بحمولة النتروجين. يتم حساب موازنة المياه بالعلاقة:

(1-14) جريان سطحي + تغلغل+ نتح = هطول مطري + حمولة المياه

إن قيمة الهطول هي قيمة الحدّ الأقصى المسجَّلة في فترة تكرار قدرها عشر سنوات. يُقدر النتح اعتماداً على الظروف المناخية والمحاصيل، ويقدر التغلغل بواسطة ظروف التربة. تُستخدم هذه العلاقة لحساب الموازنات المائية لأيّ فترة زمنية مرغوبة، تكون عادةً أسبوع، شهر، وسنة.

يتأكسد النتروجين في المياه المستصلحة بسهولة إلى صيغة نترات في برك التخزين أو في أثناء ريّ الترذيذ. في نظام يعمل بشكل صحيح، تُزال أغلبية النتروجين من المياه المتغلغلة بواسطة التركيب الضوئي. وتحت ظروف لاأكسجينية نشأت في ترب رطبة، قد تُزال نترتة بعض النترات متحوّلة إلى غاز

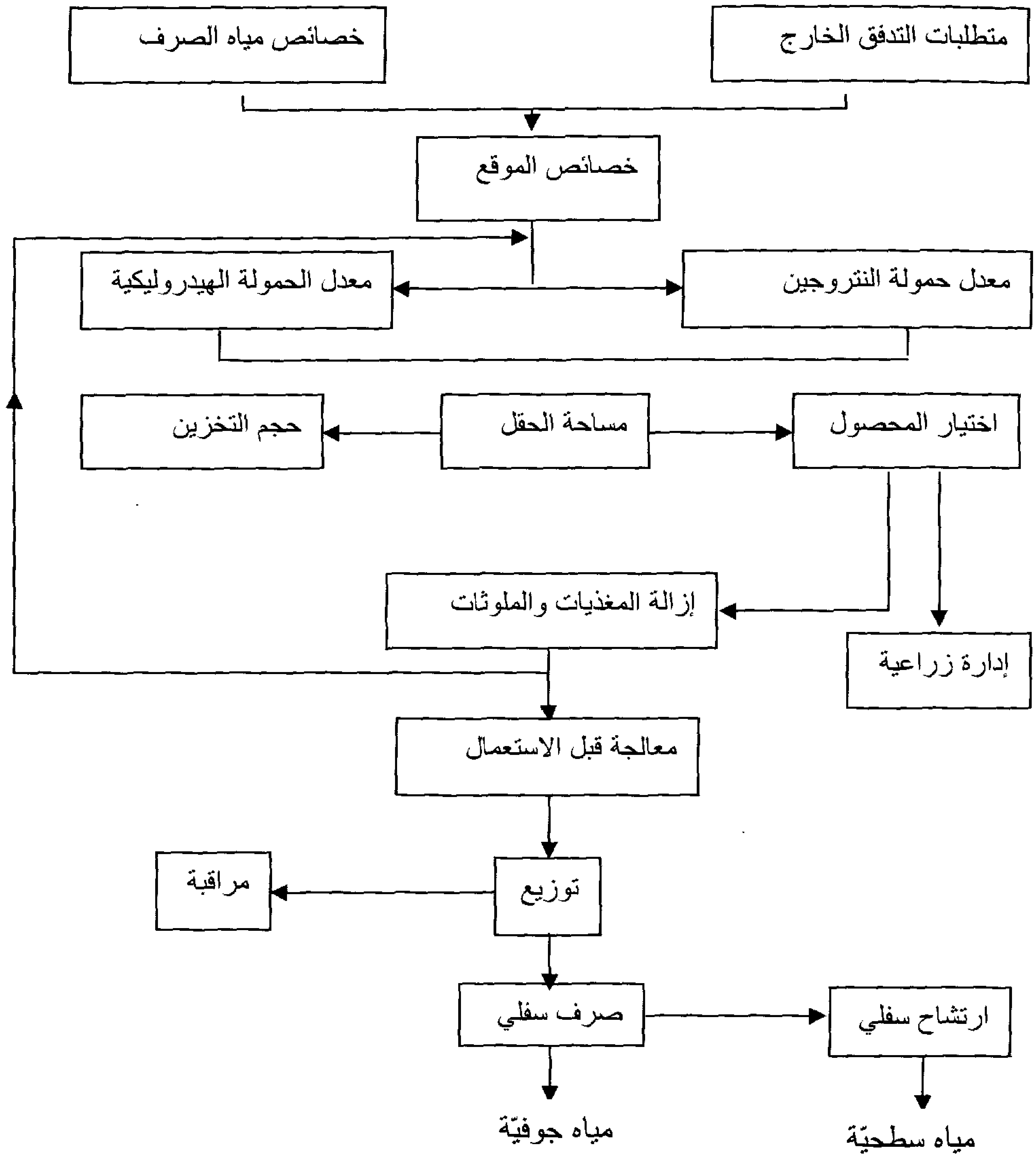
النتروجين وتضيع في الغلاف الجوي. ويمكن لأيونات النترات أن تُحمل أيضاً عبر بروفيل التربة بواسطة المياه المتغلغلة، ويحتمل ظهورها بالتالي في المياه الجوفية. وعلاقة موازنة النتروجين هي:

فقدان بإزالة النترتة + امتصاص المحصول = النتروجين المُستخدم

فقدان بالتغلغل **(2-14)**

يقع أكبر امتصاص للنتروجين في المجال التقريبي بين 200 و400 lb/ac/yr (220 إلى 450 kg/ha · y) للمحاصيل العلفية كالفصفصة، والنفل (البرسيم)، والأعشاب. ولكن خلال موسم نمو واحد، من قبل محاصيل كالذرة، وفول الصويا، والقطن يتم امتصاص نتروجين أقل بكثير من القيم المذكورة، إذ يقع في المجال التقريبي بين 70 و170 lb/ac/yr (80 إلى 190 kg/ha · y). ومن الصعب تقدير إزالة النترتة في الظروف الحقلية، لذلك فإنه يتم عموماً افتراض فقدان النتروجين بحدود 15 إلى 25% من النتروجين المستعمل. ويجب أن يكون الفقدان عبر التغلغل محدوداً بمقدار 10 mg/l والذي هو المستوى الأقصى للملوّث في مياه الشرب.

يتطلب الأمر تخزين المياه لأنظمة الريّ بسبب الاختلال في التوازن بين التجهيز بالمياه المستصلحة ومعدّل الاستعمال المقدَّر عبر نمو المحصول والظروف المناخية. في المناخ البارد، يتوقف تشغيل موقع ريّ لعدة أشهر كل سنة عندما تتجمَّد الأرض. يُقدَّر طول الفترة الزمنية عبر فصل النمو إما للمحاصيل السنوية أو الأعشاب الدائمة. يُحسب في المناخ الدافئ، التخزين المطلوب من خلال تقدير الفرق بين معدّل الاستعمال المعتمد إما بالحمولة الهيدروليكية أو بحمولة النتروجين، أو بالاحتياج المائي. ومن خلال حساب فائض أو عجز المياه كل شهر، وإضافة هذه القيم جبرياً، يتم تقدير التخزين المطلوب للإمساك بأقصى كمية من فائض المياه.



شكل 14-2: عملية تصميم تكرارية لنظام ريّ (من دليل تصميم عملية، لمعالجة أرضيّة لمياه الصرف Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater، U.S. Environmental Protection Agency، EPA 625/1-77-008, 1977)

يزيل الغطاء النباتي المروي، المغذِّيات (بصورة أساسية النتروجين والفوسفور) من مياه الصرف، ويحافظ على نفوذية التربة، ويقلِّل انجراف التربة. يتم تقدير اختيار المحصول عبر نوعية المياه المُستصلَحة، وامتصاص النتروجين، والربحية. يمكن ريّ الأعشاب بنوعية مياه متدنية، وهي ذات امتصاص أعلى للمغذِّيات على مدى موسم نمو أطول، ولا تتطلب كثير صيانة ومهارة لنموها. غير أن المحاصيل الحقلية كالذرة تُفضّل عموماً في أنظمة الريّ الكبيرة بسبب ربحيتها المالية العالية، بالرغم من أن ريِّها يحتاج إلى جدولة دقيقة لمنع استعمال مياه أو نتروجين زائدين.

مثال 14-1

احسب الموازنة المائية لشهر تموز (يوليو) لموقع ريّ مساحته 120 دونم اعتماداً على البيانات الآتية، يبلغ متوسط التجهيز بالمياه المستصلحة 1.0 mgd، والهطول المطري 2.1 in. في الشهر وبلغ نتح المحصول 6.0 in./mon، والتغلغل المسموح 10 in./mon مع تركيز للنتروجين في المياه المتغلغل 10 mg/l.

الحل

التجهيز بالمياه

$$1.0 \text{ mil gal/day} \cdot 31 \text{ day/mon} \cdot \frac{36.8 \text{ ac-in/mil gal}}{120 \text{ ac}} = 9.5 \text{ in/mon}$$

وبالتعويض في المعادلة 14-1 بافتراض جريان سطحي صفري

حمولة المياه + 10 in/mon = 6 in/mon + 2.1 in/mon

حمولة المياه = 16 in/mon - 2.1 in/mon = 13.9 in/mon

المياه المسحوبة من التخزين:

$$\frac{(13.9-9.5) \text{ in/mon} \cdot 120 \text{ ac}}{31 \text{ days/mon} \cdot 36.8 \text{ ac-in/mil gal}} = 0.46 \text{ mgd}$$

مثال 14-2

احسب امتصاص محصول للنتروجين المطلوب لبيانات موازنة مائية معطاة في المثال 14-1. افترض أن التركيز 10 mg/l في المياه المتغلغلة والفقدان الناتج من إزالة النترتة 20%. متوسط محتوى النتروجين للمياه المستصلحة 25 mg/l.

الحل

النتروجين المُستخدم

$$\frac{1.0\ mil\ gal/day\ .\ 31 day/mon\ .\ 25\ mg/l \times 8.34}{120\ ac} = 54\ lb/ac/mon$$

الفقدان الناتج من إزالة النترتة

020 . 54 = 11 lb/ac/mon

الفقدان الناتج من التغلغل

$$= \frac{10\ in/mon\ .\ 1.0\ ac\ \ .\ 10\ mg/l\ .\ 8.34}{36.8\ ac-in/mil\ gal} = 23\ lb/ac/mon$$

وبالتعويض في المعادلة 14-2

54 lb/ac/mon = امتصاص المحصول + 11 lb/ac/mon + 23 lb/ac/mon

امتصاص المحصول المطلوب = 20 lb/ac/mon

14-8 تصميم أنظمة التوزيع المدني

تتباين متطلبات التخطيط للأنظمة المدنية من استعمالات منفردة في الريّ، إلى أنظمة توزيع كاملة مع مواقع متعدّدة للاستعمال. يتطلب تصميم أنظمة توزيع مياه معادة التدوير تنسيقاً بين التجهيز والاحتياج، تخزين مياه، ونظام توزيع شبكة الأنابيب والضخ.

التنسيق ما بين التجهيز والاحتياج

تتطلب كافة استخدامات المياه المعادة الاستعمال، موازنة التجهيز والاحتياج وتنسيق الطّرح عندما يتجاوز الاحتياج للمياه المعادة التدوير حجم التخزين المتوفر، أو إضافة مصادر مياه مساعدة عندما تجاوز الاحتياج مقدار التجهيز. تتضمن استراتيجيات الجانب المتعلق بالاحتياج تخفيض الاحتياج واستعمال بدائل، إذ يمكن استعمال مياه معادة التدوير عند توفرها. تتضمن استراتيجيات الجانب المتعلق بالتجهيز، تأمين مصادر مساعدة للاحتياج، كالمياه الجوفية والمياه السطحية أو مياه الشرب. فمثلاً، تَستخدم مدينة فونيكس، وأريزونا، مياهاً معادة التدوير لإعادة تغذية المياه الجوفية عبر أراض رطبة مشيَّدة. وفي الشتاء، تنساب المياه الفائضة عادةً فتغذّي قطع الأراضي، والأراضي الرطبة، والمجاري المائية قصيرة الديمومة. أما في الصيف فتتوفر مياه أقل ويكون الطلب عليها في ذروته، وتتلقى مناطق التغذية، والأراضي الرطبة والمجاري المائية مياهاً قليلة أو أنها لا تتلقى شيئاً.

تعتمد موازنة المياه الموسمية على العروض والطلبات السنوية. وهناك أربع حالات تحدِّد توفّر المياه، عندما يوفّر الهطول المطري سنوات يمكن تصنيفها بسنوات رطبة، أو عادية، أو جافة، أو سنوات قحط. يقع تخطيط التجهيز والاحتياج بين حدّي التصميم لاحتياجات الطقس الجاف ولتجهيزات المياه في الطقس الرطب. فإذا اعتمد التصميم على تقييد الاحتياج للمياه وفقاً للاحتياج لمياه الري في سنة الجفاف، وعندها سيكون هناك وفرة في المياه معادة التدوير خلال سنوات الجفاف والسنوات العادية، والسنوات الرطبة. وسيكون التجهيز بالمياه معادة التدوير "مقاومة للقحط"، باستثناء سنوات جفاف متابعة. وخلال السنوات العادية والسنوات الرطبة، يجب التخلص من المياه الفائضة بواسطة وسائل أخرى للطرح (طرح سطحي، حقن في المياه الجوفية، أو مناطق التجميع). قد تكون كلفة الطّرح أعلى من كلفة المياه معادة التدوير. يجب أن تتضمن كافة تصاميم المياه معادة التدوير، طريقةً لطرح المياه الفائضة، أو المياه المعالجة التي لا تفي بمعايير نوعية المياه مُعادة التدوير. وقد لا يزال من الضروري

تقنين المياه في ظروف القحط. وإذا اعتمد التصميم على استعمال كامل التجهيز بالمياه معادة التدوير خلال سنة رطبة، عندها يجب أن يكون الاحتياج أعلى وسيكون بالتالي هناك عجز في المياه معادة التدوير خلال السنوات العادية وسنوات الجفاف. يجب أن يُسدّ العجز المائي من تجهيز مائي آخر، أو من مياه محتجزة، أو من الجريان السطحي، أو من مياه مُختزنة أو من مياه شرب محوّلة. ويطلب طرح المياه في حالات الطوارئ فقط. يجب تصميم أنظمة مياه مُعادة التدوير يلائم بين مقاومة القحط والطّرح الصفري، مع الأخذ بتدابير احتياطيّة لكل من طرح المياه الفائضة وعروض المساعدة لفترات عجز التجهيز بالمياه. ولدعم تطوير استعمال المياه معادة التدوير، تسمح بعض الولايات بالتجهيز بمياه معادة التدوير ودعمها بالمياه السطحية، والمياه الجوفية، ومياه العواصف المُعالَجة، وبمياه الشرب. يتطلب الأمر عروض مياه مساعدة لجعل أقصى استعمال للمياه معادة التدوير أمراً ممكناً وللحدّ من طرح فائض المياه معادة التدوير.

التخزين

تتباين كميات مياه الصرف، وهي مصدر المياه معادة التدوير، وذلك من يوم إلى آخر ومن شهر إلى آخر. تميل انسيابات الذروة اليومية لأن تحدث صباحاً ومساءً، بينما تميل ذروة الطلب على الريّ لأن تحدث ليلاً خلال الانسيابات المتدنية، يستخدم التخزين اليوميّ المتناثر عبر نظام التوزيع لموازنة التجهيز والاحتياج اليوميّين بخزّانات حجمها بين ½ و 5 mil gal ومشابهة لتلك المُستخدمة في تخزين مياه الشرب. تميل كافة محطات المعالجة إلى تلقّي انسيابات أكبر خلال أشهر الشتاء كنتيجة للارتشاح وانسياب العواصف إلى نظام المجارير. وفي الوقت نفسه يمنع الريّ خلال الهطول المطري ويستمر المنع عادةً لفترة 24 hr تلي حدوث العاصفة. يتحدد الريّ بمقدار امتصاص المحصول خلال موسم النمو.

قد تُطرح انسيابات المياه خلال الشتاء أو تُحفظ في خزّانات موسمية لاستخدامها كمياه معاد تدويرها في فصل الريّ. يمكن أن يتم الجمع بين التخزين

في برك أو أحواض مائية، وبين استخدامات تجميلية، أو ترفيهية، أو استخدامات مصادر المياه. يتضمن كثير من مضامير الغولف تخزين مياه مُعاد تدويرها في قسماتها المائية. تُبطَّن وحدات تخزين المياه المعاد تدويرها بالغضار أو بالبيتون أو بالهيبالون للحدّ من فقدان المياه وهجرة النترات ومكوّنات أخرى إلى المياه الجوفية أسفل منها. ومراقبة المياه الجوفية مطلوبة عادةً لتقدير ما إذا كان التسرب يؤثِّر في نوعية المياه الجوفية. ويجب أن يركّز التصميم على مكافحة الطحالب والبعوض والأعشاب الضارّة. يُحاط الكثير من مناطق التجميع بسياج للحدّ من وصول العامة والحيوانات. يتم إنشاء مناطق تجميع في المناطق الطبيعية لأغراض تجميلية فقط، وتمنع الاستعمالات الترفيهية كركوب القوارب، والسباحة، والغوص. توفّر مناطق التجميع المائية الترفيهية ركوب القوارب، والصيد، ولكن السباحة والتزلج المائي ونشاطات أخرى تشمل كامل الجسد ممنوعة لئلا يُبتَلع شيء من المياه. قد يكون تخزين المياه محدوداً بالنسبة إلى المياه الجوفية التي لا يمكن استخدامها في التجهيزات العامة بالمياه. تُحقن المياه المعاد تدويرها في تشكيلات تحت سطحية مع استردادها لأغراض مفيدة في وقت لاحق.

تصنَّف خزّانات تخزين المياه اعتماداً على درجة المعالجة وتماسّها مع العامة. لقد تبنَّت ولايات عديدة تسميات التخزين الدالة الآتية اعتماداً على مستوى المعالجة والاستخدام:

- مناطق تجميع طبيعية لتخزين مياه مُعاد تدويرها، ولإيجاد مناظر طبيعية أو لأغراض تجميلية. النشاطات الترفيهية ممنوعة، ووصول محدود للعموم باستخدام الأسيجة والحواجز الطبيعية.
- مناطق تجميع ترفيهية محدودة لتخزين مياه مُعاد تدويرها حيث يكون ركوب القوارب والصيد استخداماً مقصوداً (نشاطات ترفيهية مائية دون تماس جسدي). السباحة ونشاطات ترفيهية تشمل كامل الجسد كالتزلج المائي ممنوعة لتقليل احتمال ابتلاع المياه.

• مناطق تجميع ترفيهية غير مقيّدة مخصّصة في كاليفورنيا لتخزين المياه المعاد تدويرها، حيث لا يفرض فيها أيّ قيود على التّماس الجسدي أو النشاطات الترفيهية المائية. يتطلب هذا التخصيص معالجةً ثانوية تتضمن ترشيحاً وتخثّراً وتعقيماً للوصول إلى 2.2 MPN/100 ml مع اختبار إضافي لمراقبة وجود العضويات الممرضة (جياردیا، فيروسات معوي، والكريبتوسبوروديوم).

وتحت الظروف المناسبة، يمكن للمياه المعالجة أن تُخزّن في حوامل المياه الجوفية. إن نظام التخزين في حامل مائي والاسترداد منه، يسمح بتخزين مياه مُعاد تدويرها فائضة في حامل مائيٍّ محصور، وذلك للاستخدام خلال مواسم الجفاف التالية. إن تخزين المياه الجوفية أقل كفاءة من التخزين في أحواض فوق الأرض، وذلك لاحتمال هجرة المياه من آبار الاستخراج أو اختلاطها مع مياه جوفية متدنية النوعية، وتغدو بالتالي غير قابلة للاستعمال. يتطلب التخزين تحت الأرضي توصيف الحامل المائيّ ودراسة تغيرات نوعية المياه المُعاد تدويرها بعد التخزين والاسترداد.

تصميم نظام التوزيع

إن توزيع مياه معاد تدويرها مشابه لتوزيع المياه وفقاً لما نوقش في الفصل 6. تتطلب معظم القوانين أن توزّع المياه المعاد تدويرها في أنابيب أرجوانية ملفوفة بشريط أرجوانيٍّ لتمييزها ولتفادي اتصالها العرضي مع مياه الشرب. يجب أن تكون أنابيب المياه المعاد تدويرها على بعد 3 ft (أفقياً) من خطوط مياه الشرب، أو 18 in. تحتها. تكون عادةً أحجام الأنابيب أقل/ وتتبع على نحو صارم مقدار الطلب على المياه المعاد تدويرها، أكثر من ارتباطها بمقدار التجهيز بالمياه المطلوب للإيفاء باحتياجات مياه الحرائق. يتم تحليل أنظمة التوزيع بما يتعلق بحجم الأنابيب، والضغط، والسرعة، وتغيرات الطلب باستخدام برامج نمذجة حاسوبية مثل EPA NET[10].

يجب أن يسمح تصميم أنظمة المعالجة والتوزيع، تشغيلاً مرناً لتأمين أعلى درجة ممكنة للمعالجة يتم المحافظة عليها تحت حالات متغيرة. يتطلب الأمر معدات إنذار لعمليات وحدات مختلفة، ومراقبة الطاقة الكهربائية. وعندما يستخدم

الاحتفاظ قصير الأمد كمزيَّة للوثوقيّة، عندها ينبغي أن يتم تخزين مياه الصرف المعالجة جزئياً لفترة 24-hr على الأقل. وينبغي أن تكون كافة المعدّات خلاف معدّات الضخ المرتد، إما مستقلّة عن التزويد العادي بالطاقة الكهربائية، أو أن تكون مزوّدة بمصدر طاقة بديل. يتضمن التخزين الذي ينطلق ويعمل بشكل ذاتي، مستشعرات، وأدوات، وصمّامات، ومعدات أخرى للتمكن من تحويل ذاتيٍّ كامل لمياه الصرف المعالجة جزئياً إلى التخزين في حال توقُّف عملية المعالجة والعودة اليدوية إلى الوضع السابق، وذلك لتجنب إعادة إقلاع ذاتيٍّ إلى أن يُصلَّح العطل.

قد تؤثر خزّانات التخزين الكبيرة بشكل عكسيٍّ في نوعية المياه المُعاد تدويرها بسبب نمو الطحالب وبلوغ المغذيات ذروتها نتيجة التحوّل الفصلي. تنمو الطحالب في المياه الصافية المعاد تدويرها في أيّ خزان أو حوض مفتوح. بالرغم من أن المياه تفي بمتطلبات معالجة المياه المُعاد تدويرها، ويتم توزيعها كما هي، إلا أن الطحالب والمواد الصلبة الأخرى تزيد بصورة ملحوظة من صيانة النظام نظراً إلى سدّها الفتحات الصغيرة والبزابيز، ونافثات قطرات المياه. ويمكن أن يكافح نموها بإزالة المغذّيات خلال معالجة مياه الصرف أو بالكلورة والترشيح في الخزان أو الحوض المائي. يحدث انقلاب الحوض المائي عندما تمتزج المياه الدافئة مع الطبقات الباردة نتيجة التطبّق الحراري. يميل الانقلاب إلى جلب مواد صلبة ومغذّيات من قاع الحوض المائي إلى الأعلى، حيث يستنزف النشاط الحيويّ المتزايد إمداد الأكسجين الأمر الذي يتسبب بتشكّل رائحة وزيادة المواد الصلبة، قد تُستخدم نافثات وضواغط الهواء لخلخلة التطبّق الحراري ورفع مستويات الأكسجين المُذاب، ومن ثم تحسين نوعية المياه المعاد تدويرها.

الضغط

تميل ضغوط تشغيل النظام توزيع المياه المعاد تدويرها لأن تكون أعلى بقليل من نظيراتها في أنظمة توزيع المياه. تحسِّن الضغوط العالية من تغطية الرذّاذات ولا تتقيد بحدود الضغط لمعظم الأجهزة المنزلية (120 Psi). يتراوح ضغط التصميم

بين 50 وPsi 100، ولكن يمكن لضغوط النظام أن تصل إلى Psi 150، مع تراجع فردي للضغط عندا تجاوزه 80 إلىPsi 90. وأنّى كان ذلك ممكناً، فإنه يجب أن يقع تخزين المياه على ارتفاع يمكّن من المحافظة على الضغط بواسطة الثقالة، وما لم تسمح الطبوغرافيا بمواقع مناسبة لتخزين مرتفع، تميل أنظمة المياه المعاد تدويرها لأن تكون مضغوطةً بضغط مستمر. تقلّل محركات متغيرة السرعة المركَّبة على المضخات من احتياجات الطاقة وذلك عبر المقارنة بين التجهيز والاحتياج.

الوصلات العرضية

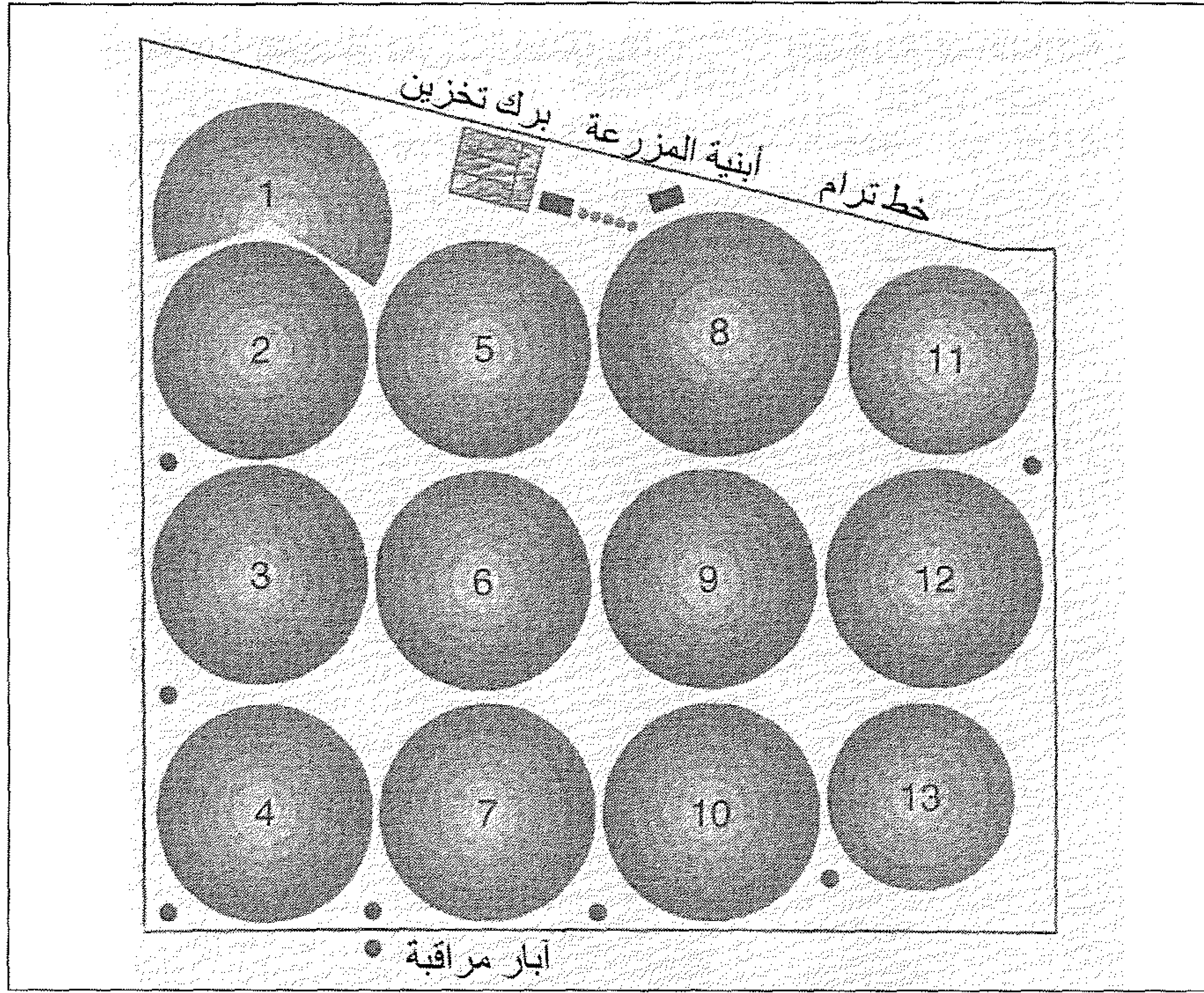
قد تُستخدم مياه خام ومياه معالجة قابلة للشرب كاحتياطيّ للتجهيز بمياه معاد تدويرها. إضافة إلى ذلك فإن المياه المعاد تدويرها ولبعض الاستخدامات كالوقاية من الحرائق والريّ، يمكن أن تعزّز التجهيز بالمياه. يجب حماية التجهيزات بالمياه من التلوّث وذلك عبر عزل الوصلات العرضية وحمايتها بجعلها بين المياه المُعاد تدويرها ومياه الشرب. ومن دون أجهزة وقاية، يمكن للتلوّث أن يحدث بسبب السَيفَنَة المُرتدّة أو الضغط المتناقص. والسَيفَنَة المُرتدّة هي ضغط متناقص أو ضغط سلبيّ في نظام توزيع مياه الشرب ناتج من طلب كبير على المياه، أو من إصلاح خط المياه في موقع أخفض من نقطة الخدمة. وسيؤدي ذلك إلى تلويث الأنظمة المتصلة لنظام مياه الشرب، عندما يكون هذا الأخير تحت ضغط منخفض بسبب ضغوط منخفضة في نظام التوزيع أو ضغوط عالية في نظام شبكة الأنابيب المتصلة المرتبطة في ما بينها.

يجب استخدام حماية الانسياب المرتد لمنع تلوّث التجهيز بمياه الشرب. وأنّى استُخدِم نظام مياه عامّة لإضافة مياه معاد تدويرها، ينبغي استخدام فجوة هوائية لمنع تلوّث التجهيز بمياه الشرب. يتطلب نظام الفجوة الهوائية خزّاناً مزوداً بصمّام عائم، بحيث تنسكب فيه التجهيزات بالمياه فوق المنسوب العلوي للمياه وتهبط بحرية إلى داخل الخزان. يتطلب الأمر مضخات وخزاناً مائياً - هوائياً لإعادة

ضغط المياه لإيصالها إلى درجة إعادة استخدامها. وعندما تكون المياه المُعاد تدويرها توزّع بأنابيب منفصلة بدون اتصال في ما بينها وبين المياه القابلة للشرب، فقد يمكن استخدام مانع ارتداد ضغط منخفض على خط التجهيزات بالمياه. وتحت بعض الظروف، مثل استخدام مياه معاد تدويرها لريّ المسطحات الخضر كجزء من منطقة مزوّدة بنظام أنابيب مزدوج، فيمكن استخدام مجموعة قطع مزدوج، بترخيص ومصادقة وكالة منشأة المياه والخدمات الصحية.

الريّ الزراعي في تاللاهاسي، فلوريدا

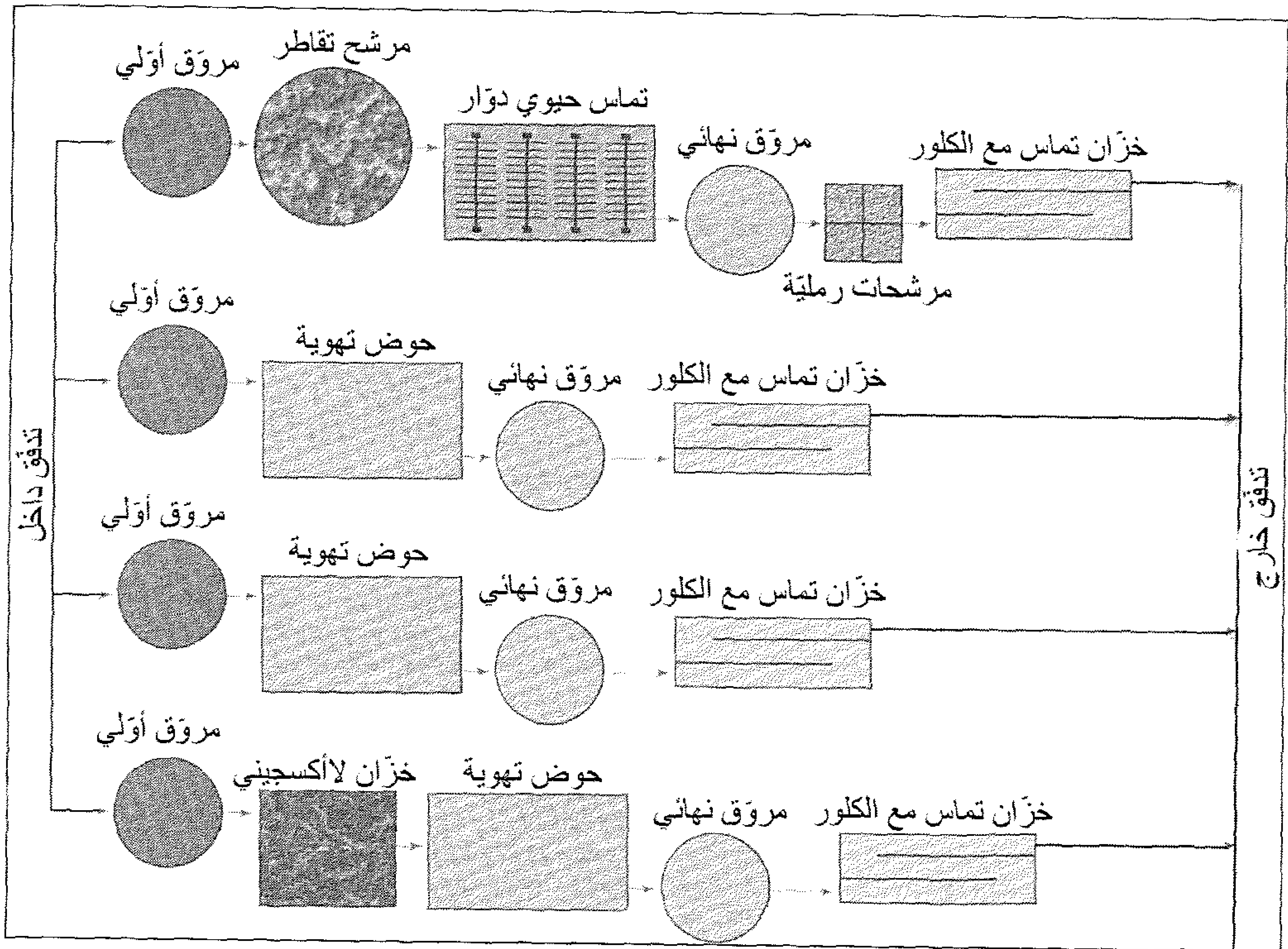
لقد استخدم التدفّق الخارج لمياه الصرف في الأراضي الزراعية في تاللاهاسي منذ عام 1966. لقد أُسّست مزرعة تعاونية مساحتها 16 دونماً كبديل من المعالجة الإضافية لإزالة المغذيات ولتجنب التلوّث ببحيرة تقع عند مصب التيار بسبب المساهمة الكبيرة لمياه الصرف. لقد وُسِّعت المزرعة عدّة مرات خلال فترة العشرين سنة الماضية إلى ما يربو على 2000 دونم باستخدام أجهزة ريّ محور مركزيّ بطاقة 23 mgd من مياه صرف معالجة. يظهر الشكل 14-3 تخطيطاً تصميمياً للحقول المرويّة، ولبرك تخزين مياه الصرف، ولمباني المزرعة، وآبار المراقبة. وتتم الآن توسعة إضافية للأرض المروية إلى الشرق من الموقع. لا يظهر الشكل المحاور من 14 إلى 16 والتي رُكِّبت إلى يمين المحور 11. يتم التحكّم بكافة المحاور المركزية بنظامٍ حاسوبيٍّ يتتبع الهطول المطري، ودرجة الحرارة، وانسياب مياه الصرف وارتفاع مياه برك التخزين. ويتم التحكّم بانسياح الرذّاذ المعلّق باستخدام بزابيز منخفضة الانسياح رُكِّبت على معدّات الريّ. تتضمن المحاصيل الكانولا (بذوراً تُستخدم لاستخراج زيت الطبخ)، الذرة، والسرغوم (يباع كعلف للماشية)، وأعشاباً مختلفة (تُستخدم كعلف للماشية أو تُحصد كتبن).



شكل 14-3: خريطة موقية لمزرعة ري بمياه الصرف، واقعة جنوب شرق مزرعة لإعادة استعمال مياه الصرف، تالاهاسي، فلوريدا

تُعالج مياه الصرف في محطة تي بي سميث ومحطة ليك برادفورد رود، وتُخزّن في برك، وتُضخ لأغراض الري. ومرفق تي بي سميث أكبر بطاقة قدرها 27.5 mgd، أما محطة ليك برادفورد رود، فذات مماسّات حيوية دورانية، وترشيح رمليٍّ لتأمين إزالة SS وBOD إضافيين، لقد أنشئت المحطتان II وIII باستخدام عملية الحمأة المنشطة. أما المحطة IV فتتألف من خزّانات لاهوائية قبل أحواض التهوية وذلك لتأمين إزالة النترتة. يسمح تقليل الأكسجين باستعمال المياه بمعدلات عالية من دون أن يكون النتروجين محدوداً. تُخزَّن المياه المعالجة في برك في الموقع بطاقة استيعاب قدرها 4.5 mgd. تمت توسعة مرفق تي بي سميث لاستصلاح المياه عبر إنشاء محطات معالجة موازية (انظر الشكل 14-4). لقد بدأت محطة I كمحطة مرشّح تقطّري أحادي المرحلة وُسِّعت لاحقاً باستخدام حجم إجمالي

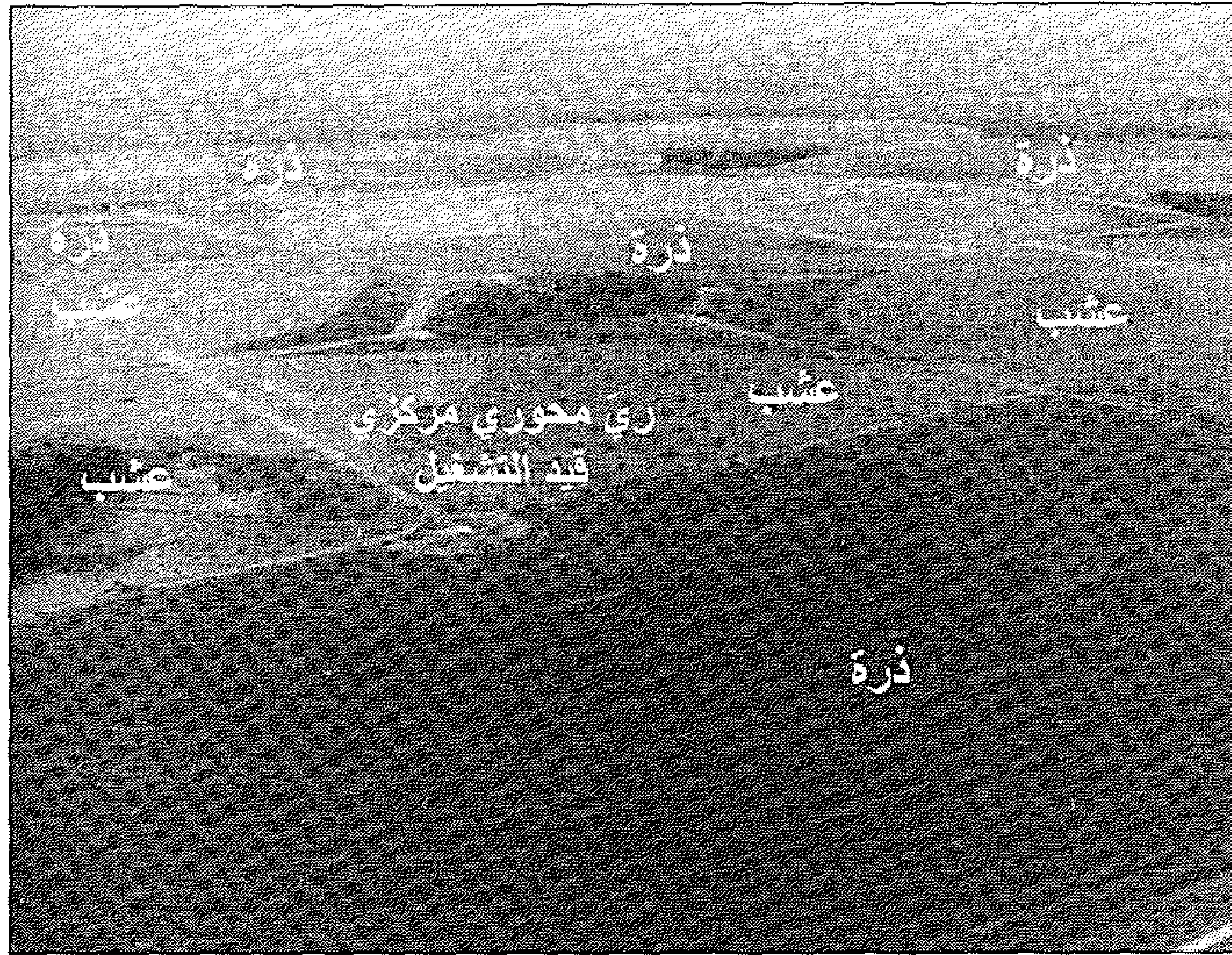
قدره 102 mil gal. ويقع موقع تخزين إضافي للمياه المعالجة المتأتية من محطة تي بي سميث ومحطة ليك برادفورد رود، قدره 48 mil gal إلى جنوب شرق المزرعة.



شكل 14-4: رسم تخطيطي لمرفق تي بي سميث لاستصلاح المياه، تالاهاسي، فلوريدا، يتكون مرفق المعالجة من أربع محطات متوازية يليها برك تخزين مع آلية ضخ لريّ المحصول

تتم المحافظة على ريّ المحصول على مدار السنة، مع تجنب الحاجة إلى طريقة ثانية لطرح مياه الصرف. اختيرت أحجام البرك بحيث تحفظ مياه الصرف خلال الانقطاعات القصيرة التي تحدث خلال الزراعة، والحصاد، والأحداث المناخية، وصيانة المعدات. يُحافظ على ريٍّ مستمرٍّ خلال إدارة المحصول والتي تتضمن زراعة نصف حقل دائري بمحصول وزراعة النصف الثاني بمحصول آخر (انظر شكل 14-5). وبينما يُروى أحد نصفي الدائرة بالريّ المحوري المركزيّ،

يكون العمال يحصدون أو يزرعون في النصف الآخر. يقلّل تدوير المحاصيل المشاكل المرتبطة به كمكافحة الأعشاب الضارّة والحشرات.



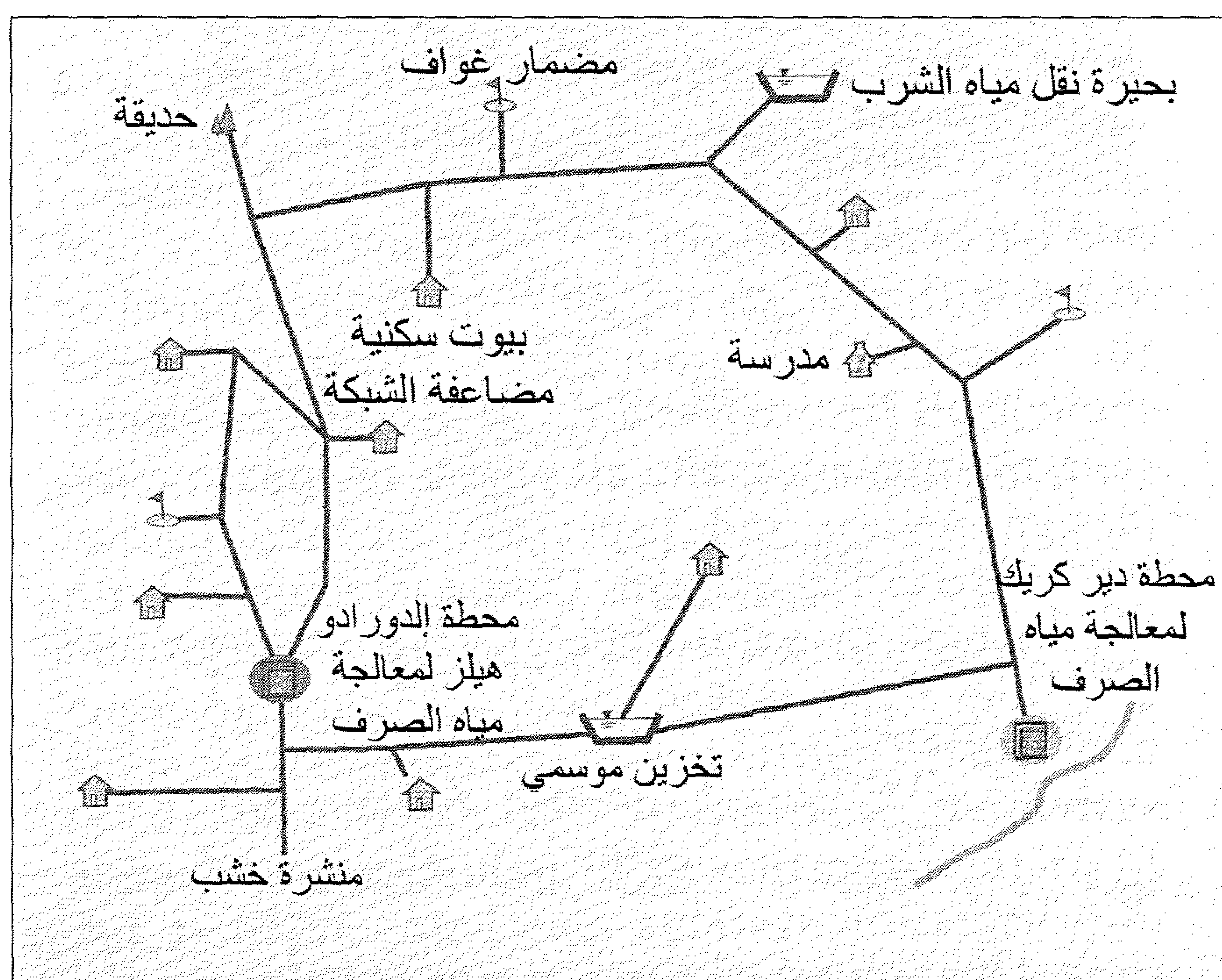
شكل 14-5: صورة جوية لحقول الري. تُظهر الصورة أداة ريّ محوري مركزيّ قيد التشغيل على حقل نصفه مزروع بأعشاب، ونصفه الآخر بالذرة. تبلغ مساحة الدائرة المروية **34 acre (54 ha)**. (موافقة دائرة مياه ومجارير مدينة تاللاهاسي، تاللاهاسي، كاليفورنيا)

تظهر الملاحظات الحقلية أن المياه الفائضة تتسبب بمشاكل تتعلق بمكافحة الأعشاب الضارّة ويدفع المغذيات إلى المياه الجوفيّة. يبلغ متوسط معدّلات الاستعمال 2.4 in./week (6 cm/week) ، ما يوفّر نتروجين وفوسفور، وبوتاسيوم كافيين لنمو أعشاب الجاودار والبرمودا. يبلغ معدّل الاستعمال المسموح به 3.1 in./week (8 cm/week). لقد دعمت الدراسات بالوثائق، الميول طويلة الأمد لمتحوّلات التربة، كما وجدت أن ثلثي المغذيات قد استهلكا من قبل النباتات دون أن يُدرجا في الميزانية. تشير مقارنات التربة لأعوام 1980، 1984، 1988، 1993 أن pH، وتركيز المادة العضوية، وسعة التبادل الكاتيوني، قد استقرت في الأقدام الثلاثة العلوية. بينما استمر تركيز الفوسفور بالازدياد بسبب تثبيته من قبل مركبات الحديد والألمنيوم. والتربة بصورة أساسية رمل ناعم، لذلك تم تطوير برنامج

مراقبة موسع لمراقبة المياه الجوفية. تحوي المياه الجوفية مستوىً مرتفعاً إلى حدٍ ما من المغذيات التي تهاجر مع الحامل المائي إلى خليج المكسيك.

ري الحدائق الأمامية والخلفية في المناطق السكنية في إلدورادو هيلز، كالفورنيا

توفّر دائرة ريّ إلدورادو، مقاطعة إلدورادو، كالفورنيا، مياه شرب وتشغّل محطتي معالجة مياه معاد تدويرها ونظام توزيع في المناطق السكنية مزدوج الأنابيب. ونظاما المياه معادة التدوير من كلتا المحطتين موصولان ويعملان بترخيص رئيس لاستصلاح المياه. يظهر الشكل 14-6 مخططاً لمحطتي المعالجة ونظام التوزيع.



شكل 14-6: محطات معالجة مياه صرف دائرة ريّ إلدورادو، استعمالات نظام توزيع مياه الصرف المعاد تدويرها ومواقع التخزين، يتضمن استعمال المياه المعاد تدويرها رياً للمناطق السكنية بشبكة أنابيب مضاعفة (حدائق أمامية وخلفية)، مضامير الغولف، الحدائق، المدارس، الصناعة، والبناء (مكافحة الغبار). إن حداً أدنى قدره 1 mgd مطلوب للطرح في دير كريك للحفاظ على الحياة المائية

بدأ استصلاح مياه الصرف في محطة مياه صرف إلدورادو هيلز عام 1979 عندما غيّر مجلس التحكّم بنوعية المياه الإقليمية لولاية كاليفورنيا (RWQCB) متطلبات الطّرح من المحطة. وبدلاً من القيام بتحسينات في المحطة بحيث يتم الإيفاء بمتطلبات الطّرحٍ، طرحت دائرة ريّ إلدورادو خيار إنشاء حوض بحجم 66-mil gal مع نظام ضخ بحيث يمكن طرح المياه المعاد تدويرها في مضمار غولف إلدورادو هيلز وفي منشرة خشب محلية. ويرجع سبب هذا الخيار جزئياً إلى أن المقاطعة دخلت للتو بفترة جفاف 1976-1977.

في عام 1989، وعندما أعلنت الدائرة حالة طوارئ مياه، قَدم مستثمر محلي يدعى سيرانو للدائرة مقاربة تقوم على فكرة استصلاح مياه الصرف بحيث يكون تطويرها، وهو يشمل مضمار غولف و3500 قطعة أرض مخصصة لبناء بيوت متحرّكة. صادقت الدائرة عام 1990 على مقاربة تحديث محطة معالجة مياه صرف دير كريك، بهدف الإيفاء بمتطلبات إعادة الاستعمال المدني غير المقيد. تضمنت التحسينات المجراة على المعالجة عام 1996، ترسيباً أولياً، ونترتة الحمأة المنشطة، وتخزين المياه، والترشيح، والتعقيم للإيفاء بمتطلبات مستند كاليفورنيا 22 للمياه معادة التدوير ثالثياً المعقّمة بطاقة معالجة قدرها 3.6 mgd.

لنظام نقل المياه معادة التدوير طاقة ذروة تبلغ تقريباً 5 mgd. لقد كان القرار الرسمي لمجلس ولاية كاليفورنيا الإقليمي بصرف 1.0 mgd على مدار العام للمحافظة على المساكن الطبيعية للحياة البرية ليؤمن انسياباً مستمراً للجدول، أمراً سبب تعقيد الموضوع. زادت إعادة تدوير مياه الحدائق الأمامية والخلفية من استخدام المياه ودُفعت مياه الشرب الإضافية إلى استخدامات أخرى. يستخدم مشغلون آخرون لأنظمة مياه معادة التدوير، إعادة تدوير مياه الحدائق الأمامية للمحافظة على مواقيت الريّ والصيانة تحت إشراف المنشأة. ولريّ الحدائق الأمامية والخلفية، يُزوّد مالك البيت بدليل استخدام ويُسمّى "مشرف المياه المعاد تدويرها". تتضمن المسؤوليات الالتزامات ومسؤوليات التشغيل، والصيانة، وكافة

مراحل الإنشاء (التصميم، المرجعة، والفحص) وذلك لتغيير نظام الري. تُلفُّ شبكة الأنابيب بشريط أرجواني أو ملون، وتلون الأجزاء الواقعة فوق سطح الأرض باللون الأرجواني أو ترمز بلاصاقات أرجوانية دلالة على استخدام مياه معادة التدوير. تحدّد أوقات ريّ أنظمة الترذيذ بين 9 مساءً والسادسة صباحاً وذلك للحدّ من احتمال تماس مياهها مع العامة، بينما قد تعمل أنظمة الريّ بالتنقيط في أيّ وقت. لا يمكن لترتيبات شبكة الأنابيب المضاعفة أن تتحوّل من المياه معادة التدوير إلى مياه قابلة للشرب لريّ المسطحات الخضر. يمكن للمياه القابلة للشرب أن تُستخدم فقط داخل البيوت ومن خلال الخرطوم خارج البيت وذلك لملء برك السباحة والمياه المعدنية في المنتجعات الفارهة. يتمّ التفتيش السنوي وضبط الوصلات العرضية من قبل الدائرة سنوياً.

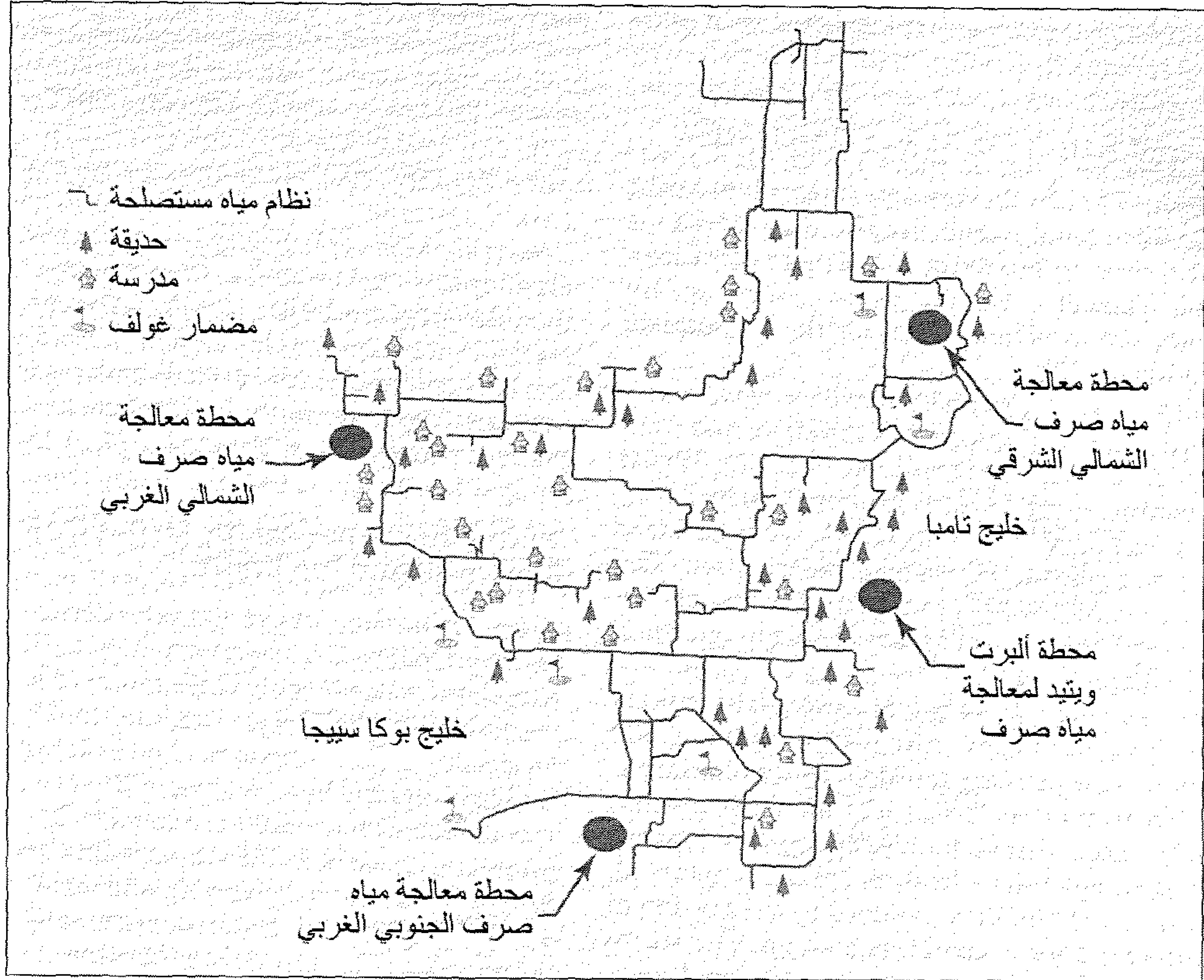
ومع تطور نظام المياه معادة التدوير، وصلت أنظمة التوزيع لمحطتي دير كريك وإلدورادو هيلز وتضمن ذلك تخزيناً يومياً، ومحطات ضخ، وتطوير نطاقات الانضغاط. تُستخدم أنظمة المياه معادة التدوير الإضافية لريّ المناطق الخضر التي تتوسط الشوارع، والحدائق ومكافحة الغبار. تتضمن الاعتبارات الناقدة لتوسيع نظام مياه معادة التدوير النجاح في الأنظمة الحالية، استمرار اهتمام المستثمرين، والضغوط من RWQCB لزيادة متطلبات المعالجة للطرح في النهر. ولزيادة كمية المياه معادة التدوير، تتضمن الخطة الرئيسة للمياه معادة التدوير إنشاء سعات معالجة إضافية للقيام بالمعالجة على مدار العام وفقاً لمتطلبات المستند 22 لنوعية المياه والتخزين الموسمي، وذلك بهدف السماح لتخزين انسيابات مياه صرف الشتاء لاستخدامها خلال فصل الريّ الصيفي. تتضمن توسعة نظام توزيع مياهاً معادة التدوير للإيفاء بانسيابات الذروة، تخزيناً يومياً إضافياً. ولدعم نظام مياه المعادة تدويرها في حالات الطوارئ، أنشئت محطة ضخ في بيز ليك تضخ مياهاً قابلة للشرب في نظام المياه معادة التدوير. يمكن استخدام محطة ضخ بيز ليك للتجهيز بالمياه عندما لا تنتج محطة المعالجة مياهاً تتطابق مع متطلبات مستند كاليفورنيا

22، لا يمكن لنظام الضخ والتخزين أن يلبّي احتياجات ريّ الذروة، أو الاحتياجات اليومية الإجمالية إن تجاوزت طاقة توزيع النظام.

إعادة استعمال المياه في سانت بترسبرغ، فلوريدا

تقع مدينة سانت بترسبرغ على شبه جزيرة بين خليج تامبا وخليج المكسيك. فرضت القوانين التي سُنَّت على مياه الصرف عام 1972 من قبل ولاية فلوريدا، قيوداً قدرها 5 mg/l على كلٍّ من الـ BOD والـ SS، و3 mg/l من النتروجين الإجمالي، و1 mg/l من الفوسفور الإجمالي. تُورد المياه القابلة للشرب من حقول آبار تبعد حوالى 60 ميلاً، وتسبب نمو عدد السكان في التنافس على التجهيزات المتاحة بالمياه. ولتفادي التكاليف العالية لإزالة المغذيات ولإزاحة مياه الشرب تجاه احتياجات مياه الريّ، اختارت المدينة تحديث محطاتها لمعالجة مياه الصرف للسماح برَيّ مدني غير مقيد. وهذه المدينة هي أكبر تجمّع سكاني في الولايات المتحدة تمكن من إعادة استعمال كامل للمياه مع التوصل إلى هدف متمثل بطرح صفري. وعند عدم توفّر الري، يتمّ حقن مياه معادة التدوير فائضة عبر آبار عميقة في حامل مائي لطرحها. أما المياه المرفوضة التي لم تتوافق مع معايير إعادة الاستعمال فيتم أيضاً حقنها، معطية أيضاً طرحاً صفرياً إلى المياه السطحية. ولاستيفاء متطلبات الولاية لإعادة استعمال غير مقيد، حدّثت سانت بترسبرغ محطات معالجة مياه الصرف الأربعة وذلك باستخدام ترشيح وسط حُبيبي للتدفّق الخارج، وكلورة بزمن تماس مديد لإزالة المُمرضات، ولتخزين مياه الريّ. لمحطات المعالجة طاقات إجمالية قدرها 68.4 mgd من المياه المستصلحة. بدأ نظام المياه المستصلحة العمل في 1978. الشكل 14-7 مخطط لنظام إعادة استعمال المياه يظهر مواقع محطات المعالجة الأربع، إعادة استعمال شبكة الأنابيب، ومناطق الريّ الرئيسة. تتضمن مناطق الريّ الحدائق، ومضامير الغولف، ومستهلكين تجاريين، ووصلات لريّ المناطق السكنية. تبلغ أقطار الخطوط الرئيسة للمياه المعاد استعمالها 12 إلى.in 36 من الحديد الصب مع خطوط ثانوية من أنابيب قطرها إلى

12 in./week من بلاستيك PVC أرجواني بطول إجمالي يبلغ 300 mile. يتمّ المحافظة على ضغوط رئيسة بين 50 و85 Psi للسماح بضغطٍ كافٍ لتشغيل أنظمة الترذيذ. إن فصل أنظمة الأنابيب، وأدوات منع الانسياب المرتد والمركَّبة في النظام المحمول، تعزل التجهيز بالمياه العامة عن نظام المياه المُعاد استعمالها.



شكل 14-7: خريطة توضح مدينة سانت بترسبرغ الواقعة على شبه جزيرة مع خليج تامبا في الشرق وخليج بوكا سييجا في الغرب. نظام مياه مستصلحة يظهر أربع محطات معالجة ثالثية، وشبكة أنابيب شريانية، ومواقع الحدائق، وباحات المدارس ومضامير الغولف المروية (موافقة مدينة سانت بترسبرغ)

خلال أشهر الجفاف، والتي تمتد عادةً من آذار إلى حزيران، تتطلب المروج الخضر عادةً 1.5 in./week أو حوالى 30000 gal/mon. بينما يكون متوسط طرح مياه الصرف لكل منزل 6000 gal/mon. يشير عدم التوازن هذا إلى أنّه يُطلَب من خمس وصلات سكنية أن تنتج مياهاً كافية لوصلة واحدة لمياه مستصلحة. ولذلك

فإن 20% فقط من 80.000 زبون محتمل من المناطق السكنية سيكونون قادرين على تلقّي كميات أكبر من المياه المستصلحة. ونتيجة للتغيرات الفصلية والطلب على الري، فإن 50% من المياه المستصلحة المتوفرة سنوياً يتم استخدامها للريّ، والمقدار المتبقي يتم ضخّه في نظام من الآبار العميقة.

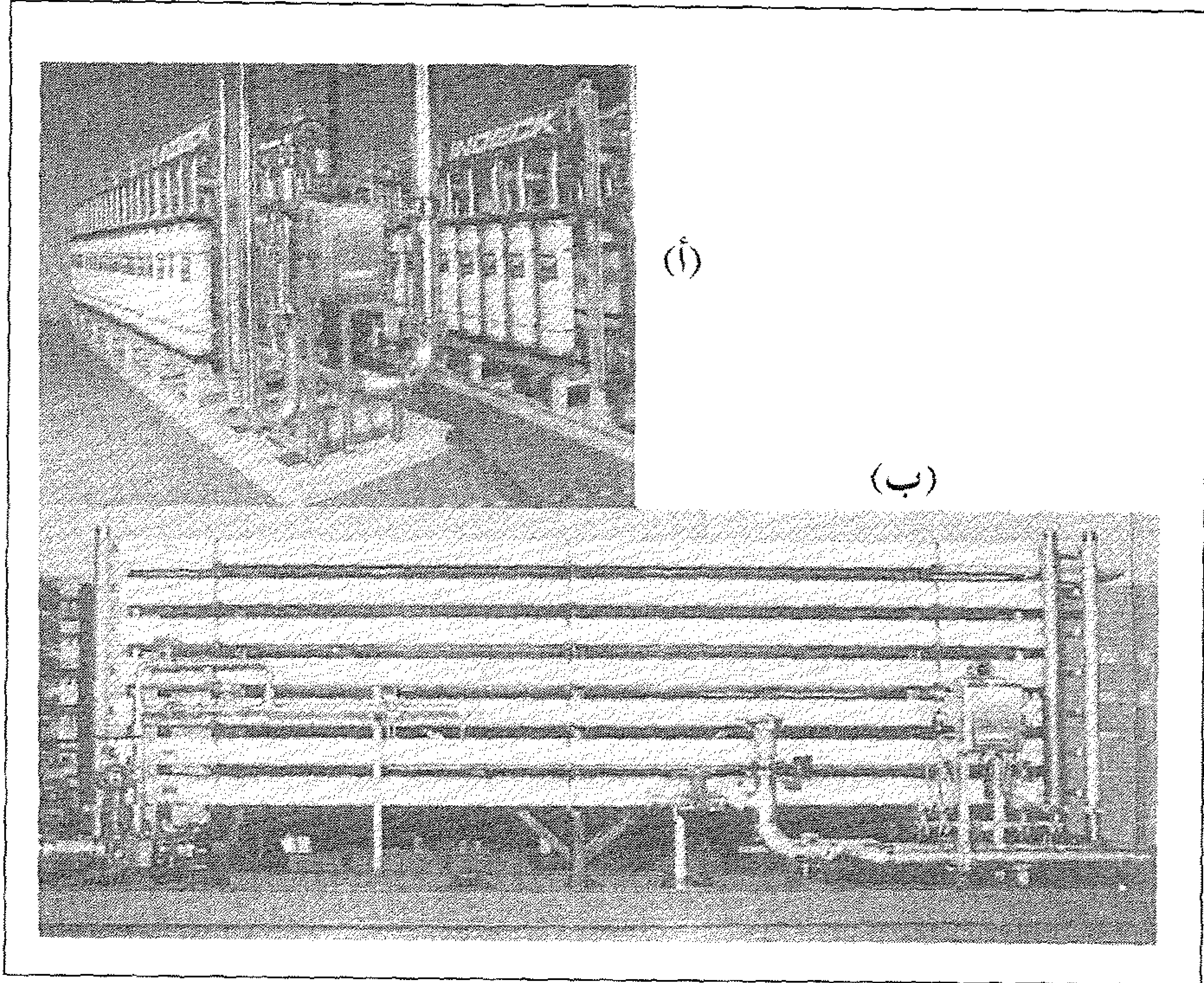
تتضمن متطلبات نوعية المياه المستصلحة والموضوعة من قبل ولاية فلوريدا لاستخدام هذه المياه في المدينة حداً أقصى من المواد الصلبة المعلّقة قدره 5 mg/l (في أيّ عينة)، وحداً أدنى قدره 1 mg/l للكلور المتبقي بعد 15 دقيقة، وتراكيز للقولونيات البرازية تحت مستوى كشفها في 75% من العينات (لا ينبغي لأيّ عينة أن تحوي أكثر من 25/100 ml). تُستخدم كافة المحطات الأربع ترشيحاً للتدفّق الخارج وتقلّل المواد الصلبة المعلّقة في مجال 1 الى 3 mg/l، ونادراً ما تُكتشف القولونيات البرازية. يُستخدم حدّ أدنى قدره 4.0 mg/l للكلور المتبقي لدى مخرج خزان التخزين كمعيار تشغيل.

إعادة الاستخدام الصناعيّ لتوليد الطاقة

تؤمن محطة دلتا ديابلو لمعالجة مياه الصرف مياهاً مُعاد تدويرها لمركز لوس ميدانوس للطاقة في بتسبرج، كاليفورنيا. تتضمن استخدامات محطة الطاقة مياه تغذية لتعويض مولّد البخار عن مقدار الاسترداد الحراري، وكذلك مياهاً لنظام تبريد المتبخرات. تتلقى محطة دلتا ديابلو مياه صرف مدن أنتيوك وبتسبرج ومناطق أخرى غير مشتركة. تتألف مرافق المعالجة من غربلة، وإزالة الرمل الخشن، وترويق أوليٍّ، ومرشحات تقطّرية برجية، وحمأة منشّطة، وترويق ثانويٍّ، وتعقيم، وإزالة كلورة. تبلغ طاقة التصميم 16.5 mgd مع تدفّق خارج فائض يطرح في مستنقع نيويورك عبر شلال مائيٍّ عميق.

لقد صُمِّمت عملية المعالجة للاستعمال الصناعيّ لـ 1200 gpm لمعالجة إجمالية و500 gpm لتناضح عكسيٍّ يعقبه إزالة تمعدن. تتضمن المعالجة ترشيحاً

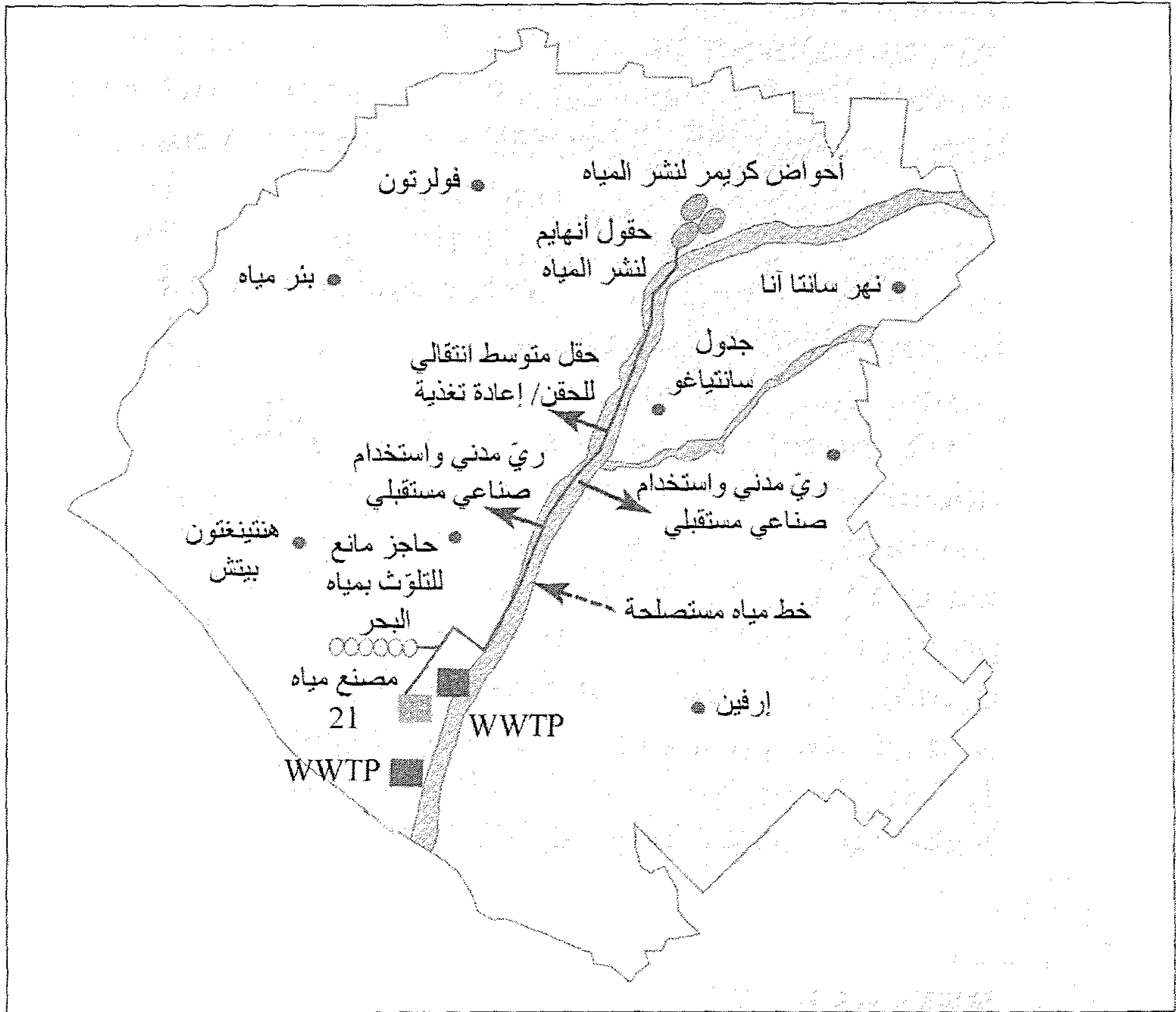
ثنائي الوسط، وترشيحاً فوق ميكروي، وتعقيماً بالأشعة فوق البنفسجية، وترشيحاً بالكربون المنشّط الحُبيبي لإزالة الـ (TOC). تُضَاف مادة كيميائية مانعة لتشكّل القشور إلى الجزء من الانسياب المُستخدم في تبريد المتبخرات. تتطلب مياه تعويض مولّد البخار معالجةً إضافية باستخدام التناضح العكسي لإزالة التمعدنات. يتضمن النظام مرشحاً لفائفياً 1- ميكرون، ومضخات ضغط عال، وسلسلة تناضح عكسيّ، ونظام إزالة الكربون بالسحب القسري، ومُزيلات تمعدن بالتبادل الأيوني في طبقة مختلطة، ونظام تنظيف بالتناضح العكسي. يظهر الشكل (14-8 أ وب)، وحدات للترشيح فوق الميكروي والتناضح العكسي على التوالي. تتضمن الأنظمة المساعدة، تحييد النفايات، وتغذية حمضية وقلوية وأنظمة تجديد هذه المواد. والمعالجة هنا تكافئ أنظمة استصلاح المياه المبينة في (الشكل 14-9ب).



الشكل 14-8 معالجة صناعية للمياه المعاد استعمالها لتغذية مولد البخار ولمياه تعويض التبريد بالتبخير (أ) وحدات التبريد فوق الميكروي لتقليل المواد الصلبة ولمعالجة مسبقة بالتناضح العكسي. (ب) وحدات التناضح العكسي. (موافقة من: **Indeck. Wheeling, IL.**)

استصلاح المياه لإعادة تغذية وحقن المياه الجوفية

منذ عام 1976، شغلت دائرة مياه مقاطعة أورانج، فاونتن فالي بكاليفورنيا مصنع المياه 21 لإعادة استصلاح مياه الصرف لحقنها في المياه الجوفية. ونتيجة السحب الجائر من الريّ وآبار المياه لأغراض الشرب، اجتاحت المياه المالحة مسافة تصل إلى 5 mil داخل اليابسة. إن الهدف من مصنع المياه 21 هو سدّ عجز إمداد المياه الجوفية بمقدار 75% من السكان البالغ عددهم 2 مليون تقريباً وبناء متراس هيدروليكيّ لحماية مناطق اليابسة من اجتياح مياه البحر. مُزجت المياه المستصلحة مع مياه مورّدة من مكان آخر قبل الحقن.



شكل 14-9: مخطط نظام إعادة تغذية وتعويض المياه الجوفية لدائرة مياه مقاطعة أورانج، لتوسيع مصنع مياه 2 مع توسيع حاجز منع اجتياح مياه البحر وخط الأنابيب إلى حقول النشر على امتداد نهر سانتا أنا

تتكوّن عملية المعالجة من ترسيب بالجير، وضبط الـ pH، وترشيح حُبيبيٍّ، وامتزاز بالكربون المنشّط، وتناضح عكسيٍّ، وإزالة كربنة، وتعقيم قبل الخلط، وذلك كما هو موصوف في (الشكل 13-9 أ)، مع طاقة قدرها 15 mgd ‏(57000 m^3/d)، وذلك عبر امتزاز الكربون، و5 mgd ‏(19000 m^3/d) بالتناضح العكسي.

يعمل الترسيب بالجير لدى قيمة pH قدرها 11 لتعقيم مياه الصرف وترسيب المواد الصلبة، وذلك كمعالجة مسبقة للتناضح العكسي. ولتحييد pH، تُضخ فقاعات ثاني أكسيد الكربون في خزان حاوٍ على تدفّق خارج من حوض الترسيب. يعمل عمود الكربون الحُبيبيّ المنشّط باتجاه انسياب للأسفل بزمن تماسٍ مع الطبقة قدره 30 دقيقة. ينتج من الامتزاز تنوع واسع من المواد العضوية، ونقص الـ COD بنسبة 50 إلى 60%. تُزال المعادن الثقيلة كالكروم والنحاس جزئياً. يُعالج ثلث التدفّق الخارج المُعالج بالكربون المنشّط بالتناضح العكسي لإزالة المواد الصلبة المُذابة. وبعد ضغطه بـ 550 Psi بواسطة محطات تغذية عالية الضغط، يُحقن حمض الكبريتيك بهدف ضبط قيمة pH عند 5.5 ولجعل حلمأة الغشاء وتشكّل قشور كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم بشكل أساسيّ، في الحد الأدنى. ينتج من التناضح العكسي ثلاثي المراحل، خفض المواد الصلبة المُذابة بنسبة 90% ليصل إلى ما يقارب 100 mg/l بمردوديّة نسبتها 85%. يتمّ طرح المياه شديدة الملوحة المنبوذة إلى مجرور تصريف يصبّ في المحيط لطرحه فيه.

خلال التسعينيات، نفَّذت دائرة مياه مقاطعة أورانج اختبارات استطلاعية وأخرى بمقياس عرض توصيفيّ، وذلك باستخدام ترشيح ميكروي لتخفيف انبثاق الرائحة ولإطالة فترة تشغيل وحدة التناضح العكسي، كما هو موصف في (الشكل 13-9ب). ينتج من المعالجة المسبقة باستخدام الجير، كما هو مبيّن في (الشكل 9-13أ)، معدّل تشغيل للتناضح العكسي قدره 10 gpd/sq ft ويتطلب تنظيفاً كل 4 إلى 5 أسابيع لإزالة المواد المسببة لانبثاق الروائح. يتسبب استبدال المعالجة المسبقة، كما هو موضّح في (الشكل 13-9ب) بزيادة نتاج التناضح العكسي إلى gpd/sq ft

12، وزيادة وقت التشغيل إلى نحو 14 إلى 22 اسبوعاً. يتطلب الترشيح الميكروي مساحةً أقل بنحو ملحوظ، ويستبعد المعالجة الكيميائية، ويتسم بسهولة أتمتته وبحاجته إلى صيانة أقل، تعمل أغشية الترشيح فوق الميكروي لمدة تصل إلى 4 أسابيع دون الحاجة إلى تنظيف كيميائيٍّ وبنتاج يتراوح بين 85 و95%.

تخطط مقاطعة أورانج مع الدائرة الصحية لمقاطعة أورانج برنامجاً لتعويض المياه الجوفية ليحل محل مصنع المياه 21، ولتوسيع الحاجز الراهن لمنع اجتياح مياه البحر، ولتطوير برنامج تعويض المياه الجوفية لتضاف من ثم إلى نهر سانتا آنا. سيضمن التوزيع خط أنابيب إلى أحواض إعادة تغذية المياه الجوفية في أناهايم وتوسيع أحواض إعادة التغذية (انظر الشكل 14-9).

وسينشأ المشروع عبر مراحل تبدأ من معدّل 71000 ac-ft (87.6 mil m^3) إلى أكثر من 130000 ac-ft (160 mil m^3) بالسنة بالترافق مع ازدياد انسيابات مياه الصرف وازدياد الطلب على المياه المعاد تدويرها. ويُدرس في الوقت الراهن إنشاء خط أنابيب فولاذي قطره 72-in. مبطّن بملاط إسمنتيٍّ، يصل بين مرفق المعالجة وأحواض إعادة تغذية المياه الجوفية. ستتم إضافة الجير لمنع تآكل البطانة الملاطية. تتراوح ضغوط الأنبوب من 170 Psi (1172 kPa) عند تصريف المضخة إلى 4 Psi (27.5 kPa) عند الحوض. يزيد تشغيل إعادة تغذية المياه الجوفية من وثوقية التجهيز بالمياه خلال ظروف الجفاف ويقلّل من الاعتماد على المياه المجلوبة. تبلغ الطاقة المقدَّرة للحقول الراهنة لنشر المياه بـــ 65 mgd (m^3/d 246025) اعتماداً على استخدام المياه المورّدة. محتوى المياه معادة التدوير من الأملاح المُذابة أقل الأمر الذي يخفض الملوحة العامة للتجهيزات بالمياه الجوفية بحلولها محل مياه نهر كولورادو المورّدة.

سيتلقى المرفق لجديد مياه صرف معالجة ثانوياً من محطة رقم 1 للدائرة الصحية لمقاطعة أورانج. يعالج 80% تقريباً من مياه الصرف باستخدام حمأة

منشطة و20% من عملية مرشح تقطريٍّ منتجاً تغذية تحوي 20 mg/l من BOD و SS.

سيتكون المرفق من ترشيح ميكرويّ، وتناضح عكسيّ، وتعقيم فوق بنفسجي، بشكل مشابه (الشكل 13-9ب). يُستخدم ترشيح ميكرويّ لإزالة المواد الصلبة المعلّقة، والابتدائيات، والبكتيريا. والنتيجة هي مياه من دون مواد وجسيمات ذات أهمية (عكورة أقل من 0.2 NTU). وكمعالجة مسبقة، سوف يقلِّل الترشيح الميكروي الرائحة وسوف يطيل فترة التشغيل ويزيد من مردودية عملية التناضح العكسي. ويتوقع أن تكون مردودية المياه بين 80 و97%. يزيل التناضح العكسي المركَّبات العضوية واللاعضوية المُذابة وينتج مياهاً مستصلحة ذات محتوىً منخفض من المواد الصلبة المُذابة ومن (TOC). تتضمن المرحلة الأولى 15 سلسلة (بديل واحد) مع 150 وعاء ضغط، تحتوي على 7 عناصر غشائية، مع تدفّق قدره 12 gpd/sq ft ($0.5\ m^3/d/m^2$) لإجمالي قدره 5 mgd ($18925\ m^3/d$). يتم التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية مع وجود حاجز إضافيٍّ لتعطيل الفيروسات، وإزالة 99.99% من الفيروسات. وبدمج التناضح العكسيّ والتعقيم، فإن الإزالة الإجمالية للفيروسات، ستصل إلى 99.9999% وإزالة 6-log.

إن إعادة الاستعمال غير المباشر للمياه المستصلحة في التجهيز بمياه الشرب من حقول النشر أو من حقن المياه الجوفيّة لا يمكن تجنّبها. إن المصدر الرئيس لمقاطعة أورانج بكاليفورنيا هو نهر سانتا آنا، والذي يهيمن عليه خلال فترات الجفاف كلّ صيف، طروحات مياه الصرف من التجمّعات الموجودة أعلى النهر. تتغلغل مياه النهر في المياه الجوفية الواقعة أسفل منها ويتم سحبها لاحقاً لمياه الشرب. تحسِّن حقول النشر من التغلغل وإعادة تغذية المياه الجوفية. يُستخدم نموذجٌ حاسوبي لتقدير طاقات ومواقع الحقن النموذجية.

إن الغرض من الحاجز المحافظة على مصب للمياه العذبة ارتفاعه أعلى من ارتفاع مياه البحر، وبالتالي منع مياه البحر من دخول الحامل المائيّ. يتباين الطلب

على المياه العذبة من الشتاء إلى الصيف. تتراوح أعماق الآبار بين 120 ft (37 m) و690 ft (207 m) بطاقات تتراوح بين 1 و2.4 mgd (من 3785 إلى m^3/day 9084).

المراجع

1. *Estimated Use of Water in the United States in 2000*, Water Resources of the United States, U.S. Geological Survey, 2000, <http://water.usgs.gov/watuse>.

2. "Water Facts No. 23: Water Recycling,." California Department of Water Resources, 2002, <http://www.wue.watcr.ca.gov/recycle/docs/WaterFact23.pdf>.

3. "2005 Reuse Inventory Report." Florida Department of Environmental Protection, 2005. <http://www.dep.state.fl.us/water/reuse/inventory.html>.

4. *Arizona Administrative CODe, 2001*, Title 18, Chapter 11, Article 3. Reclaimed Water Quality Standards, State of Arizona, 2001.

5. *California CODe of Regulations, 2001*, Title 22, Division 4, Chapter 3, Water Recycling Criteria, State of California, 2001.

6. *Florida Administrative CODe, 2001,* Chapter 62- 610. Reuse of Reclaimed Water and Land Application, State of Florida, 2001.

7. "Guidelines for the Treatment and Use of Reclaimed Water." Hawaii State Department of Health, 22 November 1993.

8. "Denitrification, Attenuation of Organic Compounds, and Colloid Transport Beneath a Reclaimed-Water Artificial Recharge Basin." U.S. Geological Survey, USGS Water Resources of California, 2000, <http://ca.water.usgs.gov/projects00/ca498 html>.

9. *Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water.* Washington, DC: National Academy Press, 1998.

10. EPANET 2.0, "Water Supply and Water Resources," U.S. Environmental Protection Agency, 2002, <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.Html>.

موقع انترنت إضافي هام

Water Reuse Association, <http://www.watereuse.org>.

مسائل

1-14 كيف تتباين استعمالات المياه من منظور التخطيط لمصادر المياه وطرحها؟

2-14 ما الاستعمالات الرئيسة للمياه مُعادة التدوير؟ كيف يتشابه مستخدمو المياه في فلوريدا، وكيف يتباينون؟

3-14 كيف تتحكّم متطلبات نوعية المياه بإعادة استعمال المياه؟

4-14 كيف تتباين متطلبات نوعية المياه لإعادة استعمال غير مقيّد عن متطلبات الريّ للمحاصيل غير الغذائية؟

5-14 ما عناصر تقرير التصميم الأولي؟ ما هي أهمية برنامج المعالجة الأولية في تقييم المشروع، (ارجع إلى 13-1 للحصول على معلومات إضافية لاستخدامها في إجابتك).

6-14 ما هي قرائن التصميم المطلوبة للترشيح والتعقيم في كاليفورنيا؟

7-14 جمعت البيانات الآتية من محطة معالجة مياه صرف تزوّد بمياه مُعاد تدويرها لريّ مضمار غولف، والمناطق الخضر التي تتوسط الشوارع، وحزام أخضر أمام مراكز التسوق. لمحطة المعالجة 6 مرشحات قطر كلّ منها 30 ft، وحوض تماس مع الكلور حجمه 5.1 مليون cu ft، وجرعة كلور قدرها 8 mg/l، ما هي المشاكل التي يمكن أن تصادفها؟

8-14 قارن معالجة ومتطلبات نوعية المياه لريّ زراعيٍّ مقيّد مقابل ريّ في المدينة غير مقيّد.

9-14 تريد مدينة أن تطوّر أرضاً لريٍّ زراعيٍّ. يحتوي انسياب التدفّق الخارج البالغ 2.3 mgd، 24 mg/l من نترات النتروجين، والمحاصيل قيد الدراسة ذات امتصاص نتروجين قدره 320 lb/ac/yr و380 lb/ac/yr. وضعت الولاية حدوداً لمعدلات الاستعمال حده الأعلى4.0 in./ week بدون تقديم أيّ ضمانة لإزالة النترتة في التربة. ما عدد الدونمات المطلوبة لاستعمال المياه المعاد تدويرها؟

10-14 تريد مدينة أخرى أن تطور أرضاً لريّ زراعي. يحتوي انسياب التدفّق الخارج البالغ 2.3 mgd، 24 mg/l من نترات النتروجين، وامتصاص المحاصيل 400 lb/ac/yr. يبلغ الهطول المطري 2.3 in./mo. لم تضع الولاية أيّ حدود لمعدلات الاستعمال. تم قياس النتح في محطة تجريبية فوجد أنه يبلغ 5.9 in./ac/mo ، كما قِيس التغلغل فوجد أنه يبلغ 14 in./mo. إذا تمّت إزالة نترتة جزء من التدفّق، منتجة < 10 mg/l في 1.0 mgd، ما عدد الدونمات المطلوبة؟ احسب المساحة المطلوبة لاستعمال المياه المعاد تدويرها؟

11-14 يعتمد تصميم الريّ المدني على بيانات الجدول الآتية. ما المساحة المطلوبة لنشر مياه الصرف وما هي متطلبات التخزين (تلميح: احسب حجم حوض التخزين المتوجب طرحه في 1 تشرين أول).

12-14 ما هي معايير النوعية ومتطلبات المعالجة التي تنطبق على ريّ مضمار غولف؟ ناقش بمصطلحات المتطلبات المقيّدة وغير المقيّدة. ما هي اعتبارات المنطقة العازلة، التسييج، ووصول العامة؟

13-14 ما هي الاختلافات بين المياه الرمادية والمياه معادة التدوير؟

جدول يخص المسألة 14-7

دفق الطافي (mgd)	عكورة الراشح (NTU)	القولونيات الإجمالية No./100 ml	دفق الطافي (mgd)	عكورة الراشح (NTU)	القولونيات الإجمالية No/100 ml
15.3	1	2 >	21.2	15	280
15.4	1	2 >	18.3	1.8	4
17.2	1	2 >	18.1	1.4	2 >
22.3	1.4	2.2	15.4	1.2	2 >
31.5	1.8	8	15.3	1.2	2 >
13.4	4	28	15.6	1.3	2 >

جدول يخص المسألة 14-11

الشهر	انسياب مياه الصرف (mgd)	الهطول (in./mo)	التبخر (in./mo)	متطلبات الري (in./ac/wk)
كانون ثاني	3.05	4	2	0
شباط	4.5	6	1.8	0
آذار	3.15	4	2.3	0
نيسان	2.46	2	6	2.5
أيار	2.51	1	8	3
حزيران	1.87	0	10	4
تموز	1.76	0	12	4
آب	1.75	0	12	4

أيلول	1.7	0	12	4
تشرين أول	1.62	2	7	3
تشرين ثاني	1.64	2	6	0
كانون أول	2.25	3	3	0

14-14 ما هي متطلبات نوعية المياه لحقن المياه الجوفية لحماية الصحة العامة؟ كيف تتباين متطلبات المعالجة عن الارتشاح السريع؟ ما هي الافتراضات الموضوعة للمعالجة الإضافية في التربة؟ (تلميح: نطاق المياه الضحلة).

15-14 ما هي الاحتياطات المقترحة من قبل NRC لزيادة التجهيز بمياه الشرب؟

16-14 يعتمد تصميم نظام الريّ المدنيّ على بيانات التجهيز والاحتياج المُدرجة في الجدول الآتي. ارسم بيانياً التجهيز والاحتياج على المخطط البياني نفسه. حدد متطلبات التخزين. (تلميح: افترض أن مستودع التخزين سيكون فارغاً في تشرين ثاني).

17-14 يُروى مضمارُ غولف بمياه مُعادة الاستعمال، ولكن لا تتوفّر كميات كافية من المياه في تموز وآب، ويتطلب التجهيز بالمياه زيادةً من تجهيزات مياه الشرب. ما هي الحماية الضرورية لصيانة الوصلات العرضية؟

18-14 كيف حلّت تاللاهاسي مشكلتها في طرح المياه؟ كيف أمّنت الوكالة طرحاً صفرياً؟

19-14 ما هي استعمالات المياه مُعادة التكرير لدائرة ريّ إلدورادو؟

14-20 ما هي المعالجة المطلوبة لإعادة الاستعمال الصناعيّ للتجهيز بالطاقة والتبريد؟ (ملاحظة: متطلبات المعالجة في هاواي)

14-21 ما هي درجة المعالجة المُستخدمة لإعادة تغذية المياه الجوفية؟

14-22 ارجع إلى الغطاء الداخلي. بافتراض أن التجهيزات بالمياه القابلة للشرب قد تأتي من الأنهار (مياه سطحية)، والبحيرات، والمياه الجوفية، اشرح أهمية مياه الصرف، ومياه الصرف المتقدمة، ومعالجة المياه معادة التدوير، واستصلاح المياه. لماذا تكون أهداف نوعية المياه حاسمة لدورة استخدام/ إعادة استخدام المياه؟ فكِّر بالمُستخدمين في مناطق مصب النهر.

جدول يخص المسألة 14-16

الشهر	التجهيز بالمياه (mgd)	الطلب (ac-ft/mo)	الشهر	التجهيز بالمياه (mgd)	الطلب (ac-ft/mo)
كانون ثاني	6.38	0	تموز	4.19	143.61
شباط	7.71	0	آب	4.09	148.40
آذار	6.03	17.28	أيلول	3.77	143.61
نيسان	5.32	35.90	تشرين أول	3.59	107.71
أيار	4.95	71.81	تشرين ثاني	3.89	0
حزيران	4.13	107.71	كانون أول	4.31	0

ملحـــق

دونم	acres	ac
احتياج أكسجين حيوي كيميائي	biochemical oxygen demand (5-day)	BOD
درجة مئوية	degrees Celsius	°C
قدم مكعب بالدقيقة	cubic feet per minute	cfm
سنتيمتر	Centimeters	cm
قدم مكعب	cubic feet	cu ft
يوم	Day	d
قطر	Diameter	dia.
أكسجين ذوّاب	dissolved oxygen	DO
درجة فهرنهايت	degrees Fahrenheit	°F
نسبة الغذاء إلـــى العــضويات	food-to-microorganism ratio	*F/M*
قدم في الثانية	feet per second	fps
قدم	Feet	ft
غرام	grams	g
غالونات	Gallons	gal
غالونات للفرد باليوم	gallons per capita per day	gpcd
غالون في الدقيقة	gallons per minute	gpm
حبة	Grains	gr

ساعة	Hour	h hr
هكتار	Hectare	ha
قدرة حصانية	horsepower	hp
إنش	Inches	in.
كيلوغرام	Kilogram	kg
كيلومتر	Kilometer	km
كيلونيوتن	kilonewton	kN
كيلوباسكال	kilopascal	kP
كيلوواط	Kilowatt	kW
لترات	Liters	I
باوندات	pounds	Ib
أمتار	Meters	m
مستوى التلوّث الأقصى	maximum contaminant level	MCL
ميليمكافئ	Milliequivalents	meq
ميليمكافئ باللتر	milliequivalents per liter	meq/l

جزء في المليون	parts per million	ppm	ميليغرام	milligrams	Mg
باوند بالإنش المربع	pounds per square inch	psi	ميليغرام في اللتر	milligrams per liter	mg/l
ثانية	second	s, sec	مليون غالون بالـــ ac باليوم	million gallons per acre per day	mgad
معدل امتصاص أكسجين	specific oxygen uptake rate	sour	مليون غالون في اليوم	million gallons per day	mgd

نوعي					
قدم مربع	square feet	sq ft	أميال	miles	mi
مواد صلبة معلّقة	suspended soils	SS	مليون غالون	million gallons	mil gal
ميثان ثلاثي الهالوجين	trihalomethane	THM	دقائق	minutes	min
كربون عضوي إجمالي	total organic carbon	(TOC)	ميليمتر	millimeters	mm
مواد صلبة معلّقة طيارة	volatile suspended solids	VSS	أشهر	months	mon
سنة	year	y،Yr	العدد الأكثر احتمالاً	most probable number	MPN

معاملات تحويل شائعة

للحصول على	بـــ	مضروباً	للحصول على	بـــ	مضروباً
باوندات بمليون	142.9	حبات بالغالون	أقدام مربعة	43560	دونمات
			أميال مربعة	0.001 56	دونمات
أونزات	0.035 27	غرامات	أقدام مكعبة	43560	دونمات- قدم
باوندات	0.002 21	غرامات	غالونات	325850	دونمات- قدم
سنتمترات	2.540	إنشات	سنتيمترات زئبق	76.0	ضغوط جوية
باوندات	2.205	كيلوغرامات			
باوندات بالقدم المكعب	0.062 43	كيلوغرامات بالمتر المكعب	إنشات زئبق	29.92	ضغوط جوية
			أقدام مياه	33.90	ضغوط جوية
باوندات بالإنش المربع	14.22	كيلوغرامات بالسنتيمتر المربع	باوندات بالإنش المربع	14.7	ضغوط جوية

سنتيمترات	0.3937	إنشات	كيلومترات	0.6241	أميال
سنتيمترات	0.061 02	إنشات مكعبة	لترات	1000	سنتمترات
أقدام مكعبة	1728	إنشات مكعبة	لترات	0.035 31	أقدام مكعبة
أقدام مكعبة	7.481	غالونات	لترات	0.2642	غالونات
أقدام مكعبة	28.32	لترات	لترات بالثانية	15.85	غالونات بالدقيقة
أقدام مكعبة	0.6463	ملايين الغالونات	$\log_{10}$	2.303	$\log_e$
أقدام مكعبة	448.8	غالونات بالدقيقة	$\log_e$ (e = 2.7183)	0.4343	$\log_{10}$
أمتار مكعبة	35.31	أقدام مكعبة	أمتار	100	سنتمترات
أمتار مكعبة	264.2	غالونات	أمتار	3.281	أقدام
أمتار مكعبة	1000	لترات	أمتار	39.37	إنشات
أمتار مكعبة	2120	أقدام مكعبة	أمتار بالثانية	3.281	أقدام بالثانية
			مايكرونات	0.001	ميليمترات
يوم	1440	دقائق	ميليغرامات باللتر	1	أجزاء بالمليون
يوم	86400	ثواني	ميليغرامات باللتر	0.0584	حبة بالغالون
قدم	30.84	سنتمترات	ميليغرامات باللتر	8.345	باوندات بمليون
أقدام	12	إنشات	باوندات	7000	حبة
أقدام	0.3048	ميترز			
أقدام من المياه	0.4335	باوندات بالإنش	باوندات	453.6	غرامات
			باوندات بالقدم	0.006 95	باوندات بالإنش
غالونات	3785	سنتمترات مكعبة			
غالونات	0.1337	أقدام مكعبة	سنتيمترات مربعة	0.1550	إنشات مربعة
غالونات	231	إنشات مكعب	أمتار مربعة	10.76	أقدام مربعة
غالونات	3.785	لترات	أميال مربعة	640	دونمات
غالونات من	8.345	باوندات من	درجة الحرارة		
غالونات بالدقيقة	0.002 23	أقدام مكعبة	°C	9/5	°F =32+
غالونات بالدقيقة	8.021	أقدام مكعبة	°F -32	5/9	°C
حبة بالغالون	17.12	ميليغرامات باللتر	أطنان	2000	باوندات

واحدات SI مختارة (نظام الواحدات الدولية)

نمط الواحدة	الكميّة	الواحدة	الرمز	التعبير في الواحدات الأخرى
واحدات قاعدية	طول	متر	m	
	كتلة	كيلوغرام[a]	kg	
	زمن	ثانية	sec	
	درجة حرارة ترموديناميكية	كيلفن [b]	K	
	كميّة المادة	مول	mol	
	زاوية مستوية	راديان	rad	التعبير في الواحدات الأخرى
الأسماء الخاصة للوحدات المشتقة	قوة	نيوتن	N	$kg \cdot m/s^2$
	ضغط	باسكال	Pa	N/m^2
	طاقة، عمل	جول	J	$N \cdot m$
	قدرة	واط	W	J/s
	مساحة	هكتار	ha	$10^4\ m^2$
	حجم	لتر	l	$10^{-3}\ m^3$
واحدات مساعدة	مساحة	متر مربع		m^2
	حجم	متر مكعب		m^3
	سرعة خطية	متر بالثانية		m/s
	تسارع خطي	متر بمربع الثانية		m/s^2
	كثافة	كيلوغرام بالمتر		kg/m^3

[a] الكيلوغرام فقط هو الواحدة القاعدية الوحيدة التي لها سابقة

[b] مقياس درجة الحرارة المئوية سيلزيوس (سابقاً كان يدعى سنتيغراد) يستخدم بشكلٍ شائع للقياسات بالرغم من أنه ليس جزءاً من نظام SI. إن فرق مقداره 1 درجة على مقياس سيلزيوس المئوي (°C) يساوي 1 كيلفن (K)، ويساوي الصفر على المقياس الترموديناميكي 273.15 كيلفن تحت الصفر المئوي.

سابقات وحدات SI

الكميّة	المضاعفات وتحت المضاعفات	السابقات	الرموز
1000 000 000 000	10^{12}	تيرا	T
1000 000 000	10^{9}	جيغا	G
1000 000	10^{6}	ميغا	M
1000	10^{3}	كيلو	K
100	10^{2}	هكتو	h
10	10^{1}	ديكا	da
0.1	10^{-1}	ديسي	d
0.01	10^{-2}	سنتي	c
0.001	10^{-3}	ميلي	m
0.000001	10^{-6}	مايكر	µ
0.000000001	10^{-9}	نانو	n
0.000000000001	10^{-12}	بيكو	p
0.000000000000001	10^{-15}	فيمتو	f
0.000000000000000001	10^{-18}	أتو	a

معاملات التحويل من نظام الواحدات الانكليزي إلى نظام واحدات SI

مضروباً	بـ	للحصول على	مضروباً	بـ	للحصول على
طول			كثافة		
ميل mi	1.609	كيلومتر، km	باوند بالقدم مكعب lb cu/ft	16.02	كيلوغرام بالمتر مكعب kg/m^3
يارد yd	0.9144	متر، m			

قدم ft	0.3048	متر، m
إنش in	25.4	ملّيمتر، mm
	مساحة	
ميل مربع sq mi	2.59	كيلومتر مربع، km^2
دونمacre ac	0.4047	هكتار، ha
	4047	متر مربع، m^2
يارد مربع	0.8361	متر مربع، m^2
قدم مربع sq	0.0929	متر مربع، m^2
in^2 sq in	645.2	ميليمتر مربع، mm^2
	حجم	
دونم قدم	1234	متر مكعب،m^3
يارد مكعب	0.7649	متر مكعب،m^3
قدم مكعب cu ft	0.02832	متر مكعب، m^3
	28.32	لتر، l
غالون	3.785	لتر، l
سرعة		
قدم بالثانية ft/sec	0.3048	متر بالثانية، m/sec
قدم بالدقيقة ft/min	0.00508	متر بالثانية، m/sec
	انسياب	
مليون غالون أمريكي	3785.0	متر مكعب
باليوم mgpd		باليوم،d/m^3
	43.81	لتر بالثانية ، sec/m^3
مليون غالون	5.450	متر مكعب

	معدل حمولة احتياج أكسجين حيوي كيميائي BOD	
باوند لكل 1000 قدم	16.02	غرام متر
مكعب باليوم		مكعب. يوم،
lb/1000 cu ft/day		g/m^3 . d
باوند لكل دونم باليوم	0.1121	غرام بالمتر المربع
lb/ac/day		g/m^2 . d
	1.121	كيلوغرام/هكتار.
		يوم، kg/ha . d
	معدل حمولة المو:د الصلبة	
باوند بالقدم	16.02	كيلوغرام بالمتر
المكعب باليوم		المكعب باليوم
lb/cu ft/day		kg/m^3. d
باوند بالقدم المربع باليوم	4.883	كيلوغرام/متر
lb/sq ft/day ft/day		مربع باليوم
		kg/m^2 . d
	معدل الحمولة الهيدروليكيّة	
مليون غالون أمريكي	0.9353	متر مكعب بالمتر
بالدونم باليوم		المربع باليوم
mgad		m^3/m^2 . d
	9353	متر مكعب بالهكتار
		باليوم $ha . d/m^3$
غالون أمريكي بالقدم	0.04075	متر مكعب بمتر
المربع باليوم		مربع باليوم

					أمريكي
d .m ^{2}/ m^3		gal/sq ft/day	باليوم، d/3		بالدقيقة gpm
لتر بالمتر المربع بالثانية l/m2 . sec	0.6790	غالون أمريكي بالقدم المربع بالدقيقة gpm/sq ft	لتر بالثانية ، l/s	0.06309	
			متر مكعب بالثانية ، sec/ m^3	0.02832	قدم مكعب بالثانية cu ft/sec
متر مكعب بمتر مكعب باليوم m3/m3.d	0.1337	غالون أمريكي بالقدم المكعب باليوم gal/cu ft/day	كتلة		
			طن (1000 kg)	0.9072	طن (2000 (lb
التركيز			كيلوغرام، kg	907.2	
ميليغرامات باللتر، mg/l	0.1198	باوند بمليون غالون أ. . ، lib/mil gal	كيلوغرام، kg	0.4536	باوند، lb
			غرام، g	453.6	
القوة			كثافة		
نيوتن، N	4.448	قوة باوند lb	كيلوغرام بالمتر مكعب kg/m^3	16.02	باوند بالقدم مكعب lb /cu ft
الضغط			التهوية		
كيلوباسكال، kPa	0.04788	باوند بالإنش المربع psf			
كيلوباسكال، kPa	6.895	باوند بالإنش المربع psi	متر مكعب/ كيلوغرام m^3/kg	0.06243	قدم مكعب (هواء) بالباوند BOD، cu ft/lb
القدرة					
كيلووات، kW	0.7457	قدرة حصانية، hp			

معاملات التحويل من نظام واحدات SI إلى نظام الواحدات الانكليزي

جدول بالعناصر الكيميائيّة

الاسم	الرمز	العدد الذري	الوزن الذري	الاسم	الرمز	العدد الذري	الوزن الذري
أكتينيوم	Ac	89	–	زئبق	Hg	80	220.59
ألمنيوم	Al	13	26.9815	موليبدينوم	Mo	42	95.94
أمريكيوم	Am	95	–	نيوديميوم	Nd	60	144.24
انتيمون	Sb	51	121.75	نيون	Ne	10	20.183
أرغون	Ar	18	39.948	نيبتونيوم	Np	93	-
زرنيخ	As	33	74.9216	نيكل	Ni	28	58.71
استاتين	At	85	–	نيوبيوم	Nb	41	92.906
باريوم	Ba	56	137.34	نتروجين	N	7	14.0067
بركيليوم	Bk	97	–	نوبيليوم	No	102	-
بيريليوم	Be	4	9.0122	أوسميوم	Os	76	190.2
بيزموث	Bi	83	208.980	أكسجين	O	8	15.9994
بورون	B	**5**	10.811	بالاديوم	Pd	46	106.4
بروم	Br	**35**	97.904	فوسفور	P	15	30.9738
كادميوم	Cd	48	112.40	بلاتين	Pt	78	195.09
كالسيوم	Ca	20	40.08	بلوتونيوم	Pu	94	-
كاليفورنيوم	Cf	98	–	بولونيوم	Po	84	-
كربون	C	6	12.01115	بوتاسيوم	K	19	39.102
سيريوم	Ce	58	140.12	برازيوديميوم	Pr	59	140.907
سيزيوم	Cs	55	132.905	بروميثيوم	Pm	61	-
كلور	Cl	17	35.453	بروتاكتينيوم	pa	91	-
كروم	Cr	24	51.990	راديوم	Ra	88	-
كوبالت	Co	27	58.9332	رادون	Rn	86	-

186.2	75	Re	رينيوم	63.546	29	Cu	نحاس
102.905	45	Rh	روديوم	–	96	Cm	كوريوم
85.47	37	Rb	روبيديوم	162.50	66	Dy	ديسبرسيوم
101.07	44	Ru	روثينيوم	–	99	Es	أينشتاينيوم
150.35	62	Sm	ساماريوم	167.26	68	Er	ايربيوم
44.950	21	Sc	سكانديوم	151.96	63	Eu	يوربيوم
78.96	34	Se	سيلينيوم	–	100	Fm	فرميوم
28.86	14	Si	سيليكون	18.9984	9	F	فلور
107.868	47	Ag	فضة	–	87	Fr	فرانسيوم
22.998	11	Na	صوديوم	157.25	64	Gpd	غادولينيوم
87.62	38	Sr	سترونسيوم	69.72	31	Ga	غاليوم
32.064	16	S	كبريت	72.59	32	Ge	جرمانيوم
189.948	73	Ta	تانتاليوم	196.967	79	Au	ذهب
-	43	Tc	تكنيسيوم	178.49	72	Hf	هافنيوم
127.60	52	Te	تللوريوم	4.0026	2	He	هليوم
158.924	65	Tb	تربيوم	164.930	67	Ho	هولميوم
204.37	81	Ti	ثاليوم	1.00797	1	H	هيدروجين
232.038	90	Th	ثوريوم	114.82	49	In	إنديوم
168.934	69	Tm	ثوليوم	126.9044	53	I	يود
118.69	50	Sn	قصدير	192.2	77	Ir	إيريديوم
47.90	22	Ti	تيتانيوم	55.847	26	Fe	حديد
183.85	74	W	تنغستين	83.80	36	Kr	كريبتون
238.03	92	U	يورانيوم	138.91	57	La	لانتانوم
50.942	23	V	فإناديوم	207.19	82	Pb	رصاص
131.30	54	Xe	كسينون	6.939	3	Li	ليثيوم
173.04	70	Yb	يتيربيوم	174.97	71	Lu	لوتيتيوم
88. 905	39	Y	يتريوم	24.312	12	Mg	مغنزيو م
65.37	30	Zn	توتياء (زنك)	54.9380	25	Mn	مانغانيز
91.22	40	Zr	زركونيوم	-	101	Md	مندليفيوم

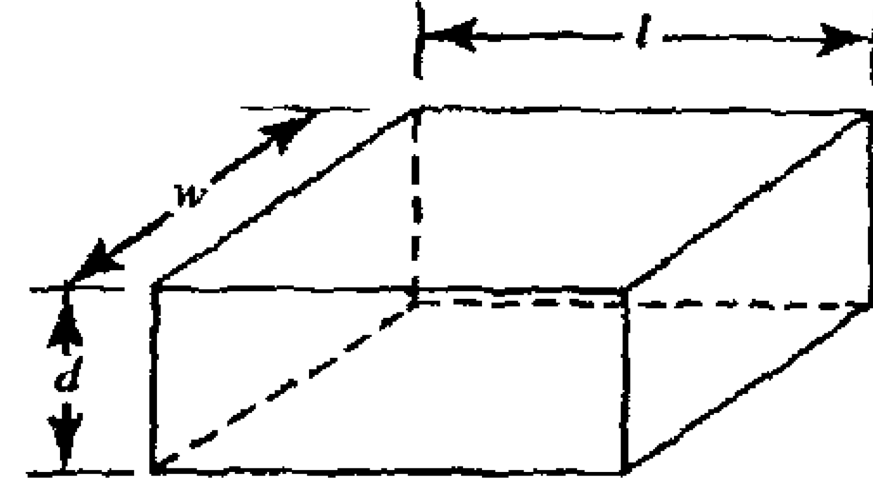
معادلات هندسية لأحواض مختلفة الأشكال

حوض متوازي مستطيلات

w x l = مساحة السطح

$2w + 2l$ = محيط

w x l d x= الحجم

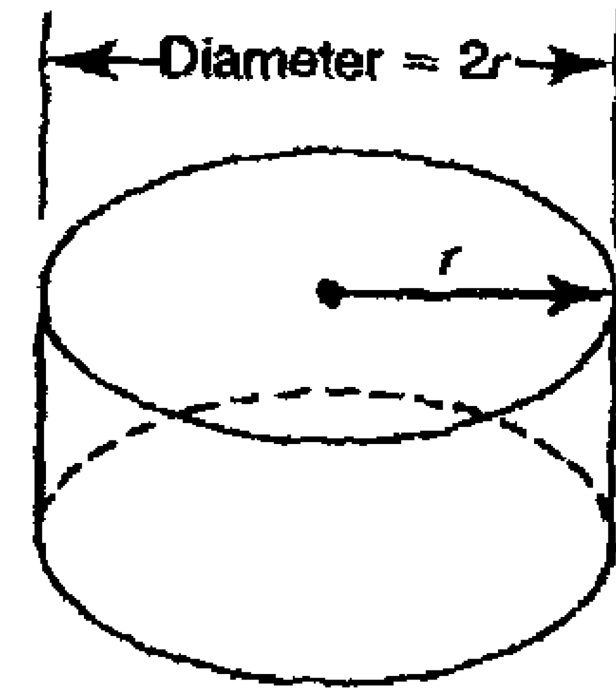


حوض مستدير

π x r^2 = مساحة السطح

π2 x x r = محيط

π x ^2r x d =الحجم

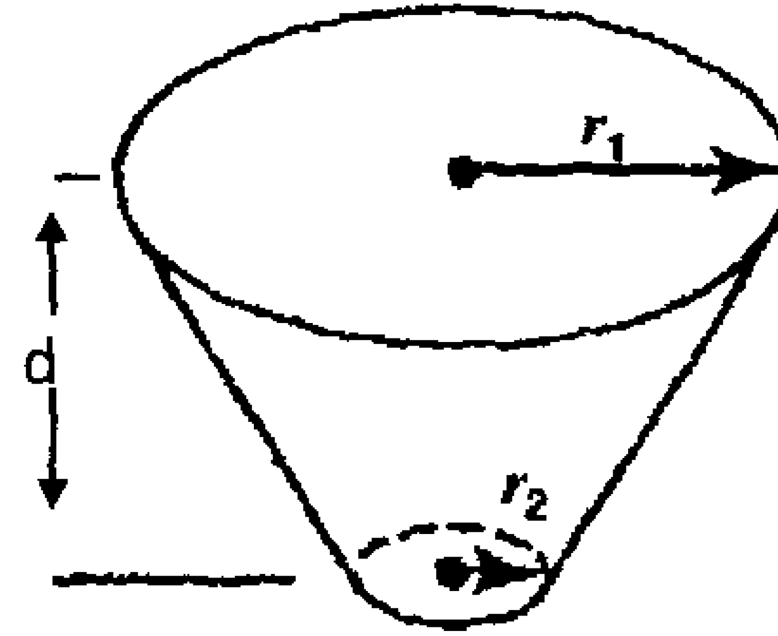


حوض مخروطي

$\pi \times r_1^2$ = مساحة1

$\frac{d}{e} \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$ = الحجم

$\pi \times r_2^2$ =مساحة2



حوض منشوري

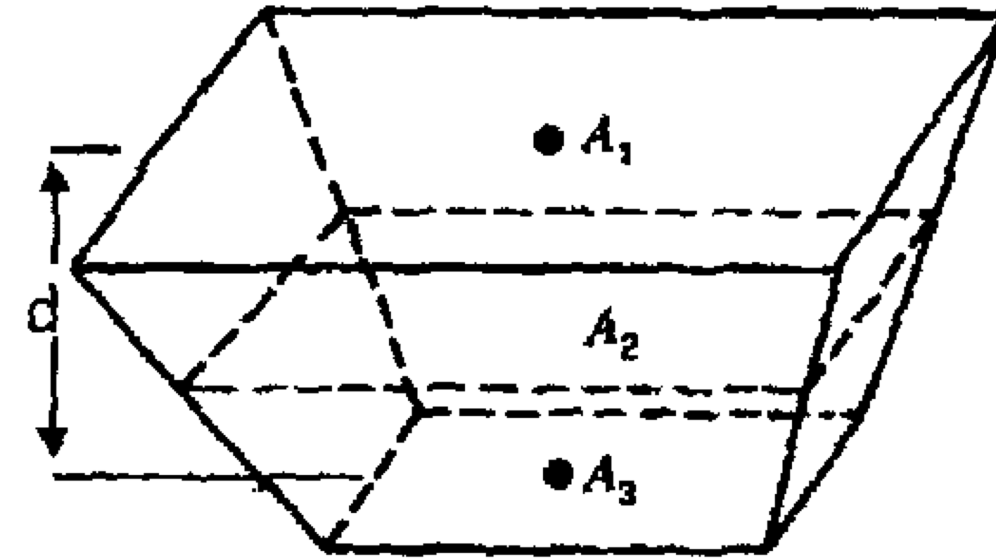
$\frac{d}{e} \times (A_1 + 4A_2 + A_3)$ = الحجم

A_1 = مساحة السطح

A_2 =مساحة المستوي المتوسط

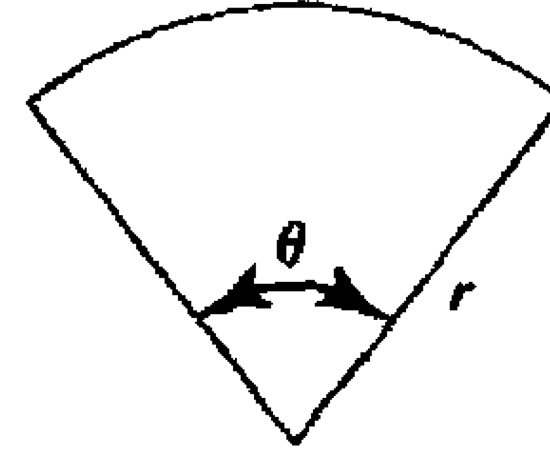
A_3 = المساحة السفلية

d = العمق



قوس من دائرة

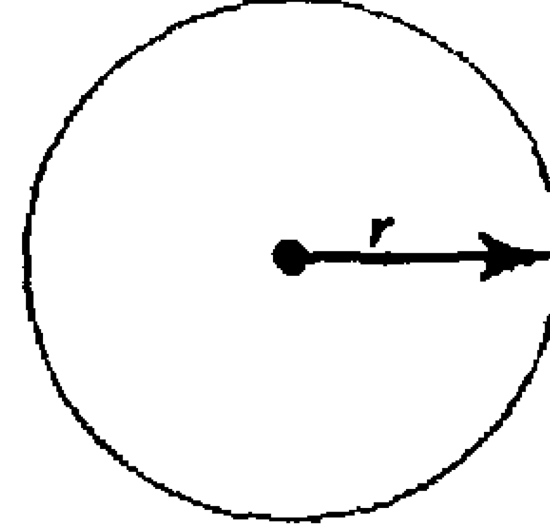
مساحة السطح = $\frac{\pi \times r^2 \times \theta}{360}$



طول القوس = $\frac{\pi \times r \times \theta}{180}$

كرة

مساحة السطح =

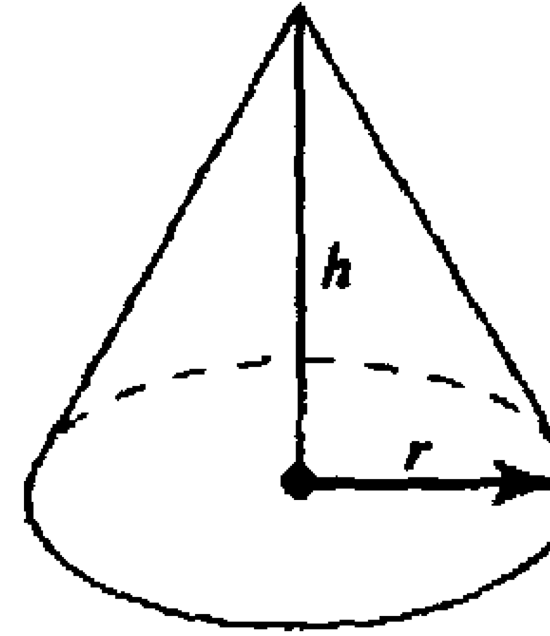


الحجم = $4/3 \times \pi \times r^3$

مخروط

مساحة السطح المنحني= $\pi \times r \times \sqrt{r^2 + h^2}$

الحجم = $\frac{\pi}{3} \times r^2 \times h$

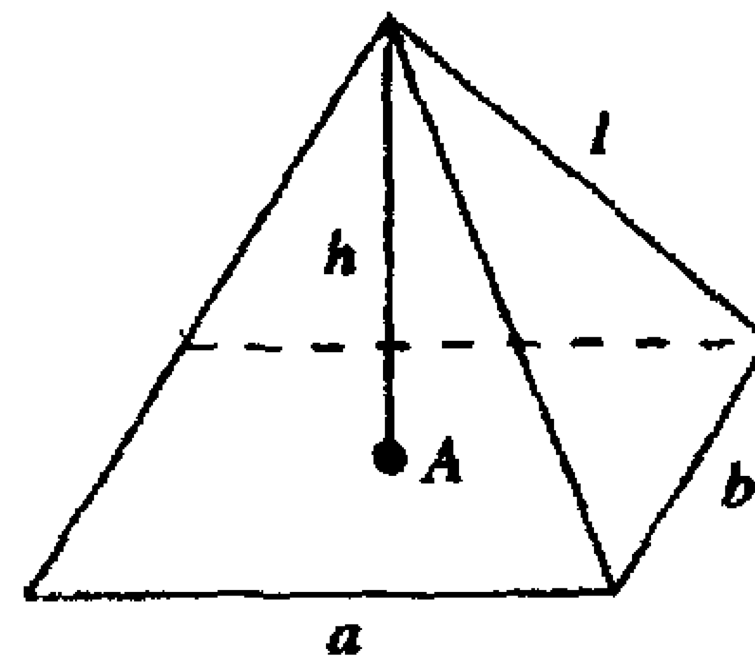


هرم

الحجم = $\frac{a \times b \times h}{3}$

المساحة الجانبية = =

مساحة القاعدة =



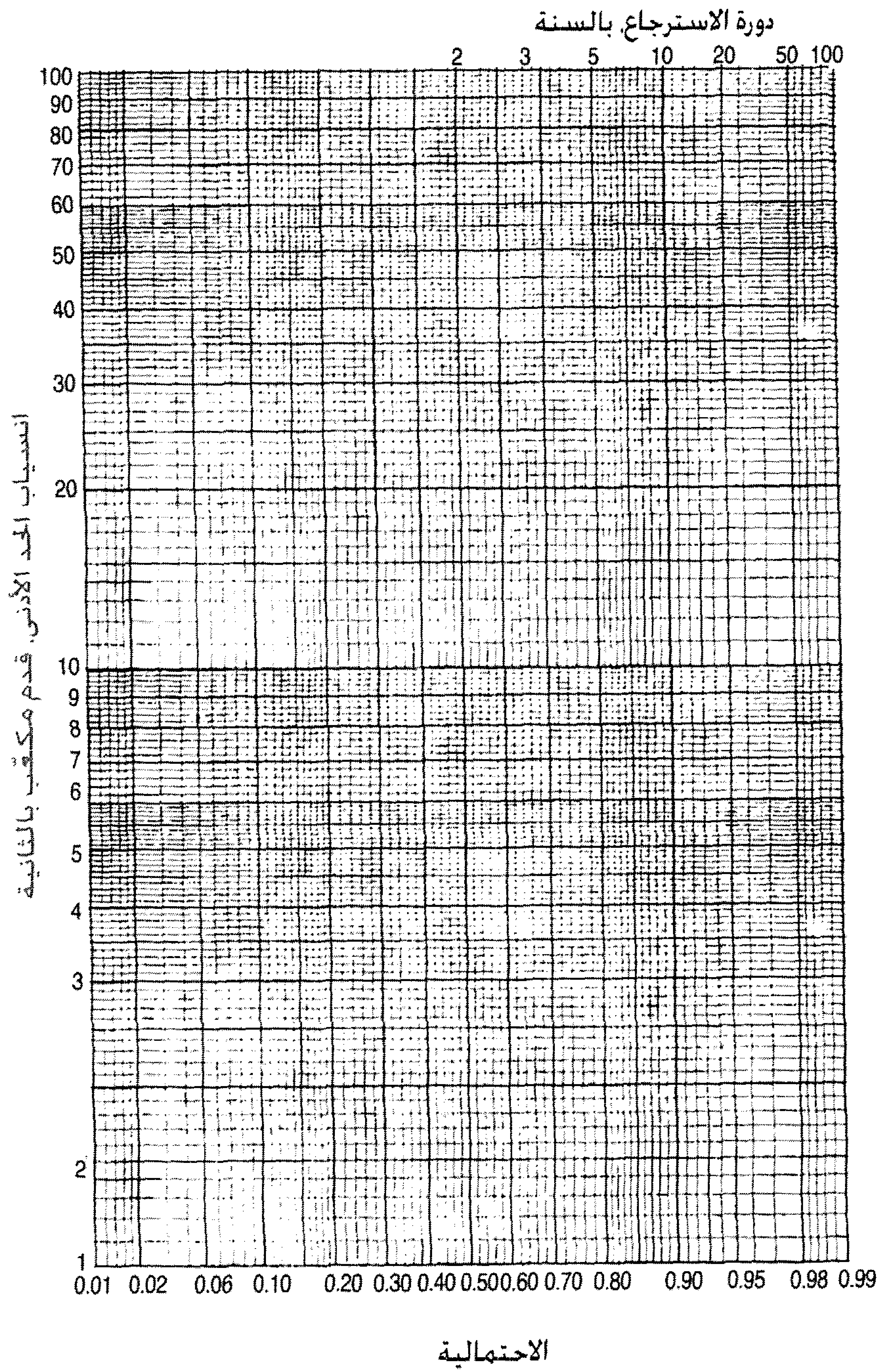
الجدول الدوري للعناصر الكيميائية

العدد الذري ← 50 | حالة الأكسدة ← +2, +4
الرمز ← Sn
الوزن الذري ← 118.69

1a	2a	3b	4b	5b	6b	7b	8			1b	2b	3a	4a	5a	6a	7a	0
1 H 1.0079 (+1)																	2 He 4.0026 (0)
3 Li 6.94 (+1)	4 Be 9.01218 (+2)											5 B 10.81 (+3)	6 C 12.011 (+4)	7 N 14.0067 (+5, +3, 3)	8 O 15.9994 (-2)	9 F 18.998403 (-1)	10 Ne 20.17 (0)
11 Na 22.98977 (+1)	12 Mg 24.305 (+2)											13 Al 26.98154 (+3)	14 Si 28.0855 (+4)	15 P 30.97376 (+5, +3, -3)	16 S 32.06 (+6, +4, -2)	17 Cl 35.453 (-1)	18 Ar 39.948 (0)
19 K 39.0983 (+1)	20 Ca 40.08 (+2)	21 Sc 44.9559	22 Ti 47.9	23 V 50.941	24 Cr 51.996 (+6, +3)	25 Mn 54.938 (+7, +4, +2)	26 Fe 55.847 (+3, +2)	27 Co 58.9332 (+3, +2)	28 Ni 58.71 (+3, +2)	29 Cu 63.546 (+2, +1)	30 Zn 65.38 (+2)	31 Ga 69.72 (+3)	32 Ge 72.59 (+4, +2)	33 As 74.9216 (+5, +3)	34 Se 78.96 (+6, +4, -2)	35 Br 79.904 (-1)	36 Kr 83.8 (0)
37 Rb 85.467 (+1)	38 Sr 87.62 (+2)	39 Y 88.9059	40 Zr 91.22	41 Nb 92.9064	42 Mo 95.94	43 Tc 98.9062	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.4	47 Ag 107.868 (+1)	48 Cd 112.41 (+2)	49 In 114.82 (+3)	50 Sn 118.69 (+4, +2)	51 Sb 121.75 (+5, +3)	52 Te 127.6 (+6, +4, -2)	53 I 126.9045 (-1)	54 Xe 131.3 (0)
55 Cs 132.9054 (+1)	56 Ba 137.33 (+2)	57 La 138.9055	72 Hf 178.49	73 Ta 180.947	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.22	78 Pt 195.09	79 Au 196.9665	80 Hg 200.59 (+2, +1)	81 Ti 204.37 (+3, +1)	82 Pb 207.2 (+4, +2)	83 Bi 208.9808 (+5, +3)	84 Po (210) (+6, +4)	85 At (210)	86 Rn (222) (0)
87 Fr (223) (+1)	88 Ra 226.0254 (+2)	89 Ac (227)	104 Ku* (261)	105 Ha* (262)													

Lanthanum Series	58 Ce 140.12	59 Pr 140.9	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.96	64 Gd 157.2	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
Actinium Series	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)

ورق احتمالية لوغاريتمي مكوّن من حلقتين لحل المسألتين 4-52 و4-53


دورة الاسترجاع, بالسنة
2 3 5 10 20 50 100
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
انسياب الحد الأدنى, قدم مكعب بالثانية
0.01 0.02 0.06 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 0.95 0.98 0.99
الاحتمالية

ثبت مصطلحات (إنجليزي ــ عربي)

1	Abdominal	بطنية
2	Absorption Absorbance	امتصاص، قدرة المادة على امتصاص الطاقة بمختلف أشكالها الإشعاعية المرئية أو غير المرئية
3	Access Ports	منافذ الوصول إلى مكان ما، أو إلى شبكة الإنترنت
4	Access Walkway	ممر الوصول إلى مكان أو إلى موقع محدد أو قسم أو وحدة ضمن منشأة أو محطة معالجة
5	Acronym	تسمية مختصرة منحوتة من الأحرف الأولى للكلمات المكونة
6	Activated Biological Filtration (ABF)	ترشيح حيوي منشط
7	Activated Sludge	حمأة منشطة: عملية تتعامل مع حمأة مجارير أو مياه صرف صناعي تمت غربلتها ثم أدخل إليها الهواء أو الأكسجين مع عضويات
8	Adsorption	امتزاز: يعتمد الامتزاز الفيزيائي على قوى فان درفالس للتجاذب بين الجزيئات، أما الامتزاز الكيميائي فهو إمساك الغاز على سطح مادة ما بقوة كيميائية يختلف قدرها باختلاف المادة
9	Aerator	أدوات كهربائية تقوم بالإمداد بفقاعات الهواء لتأمين أكسدة المادة العضوية وتحللها هوائياً
10	Aerobe	بكتريا حيهوائية لا تعيش إلا على الأكسجين
11	Agglomerates	تكتّل وتكدس وتجمع حبات متباينة الحجم ودرجة الاستدارة

12	Aggressive	عُدْوانيّ ميل الأحماض أو الأسس أو أبخرتها للتفاعل مع المعدات في مصنع أو منشأة أو محطة معالجة
13	Air Headers	موجهات الهواء معدات تقوم بتوجيه تيارات الهواء نحو سطوح الخزانات
14	Airloc Balls	كرات حبس الهواء: كرات يحركها صمام للتحكم بانسياب الهواء في الأنابيب
15	American Water Works Association	رابطة المنشآت المائية الأمريكية
16	Ammonification	توليد الأمونيا: تركيب الأمونيا من تفاعلات كيميائية تجري ضمن إحدى ضمن إحدى وحدات محطة المعالجة
17	Amoebas	متحول آميبي: حيوان بروتزوا وحيد الخلية له القدرة على تشكيل أهداب مؤقتة تمكنه من الحركة. يعيش على قاع الجداول والبحيرات، وفي الجهاز الهضمي للإنسان متسبباً بالزحار
18	Amylolysis	تحول النشاء إلى سكرت حول كيميائي عضوي معروف
19	Anaerobiosis	حياة لاهوائية بدون أكسجين
20	Ancillary	ملحقة إضافية توفر دعماً للنشاطات الأولية للعضويات
21	Animal Viruses	فيروسات يافعة قوية
22	Anion	أنيون: أيون سالب الشحنة
23	Anoxic	لاأكسجينية
24	Antibodies	أجسام مضادة: جزيئات تتشكل كاستجابة لدخول جسم غريب إلى الجسم تدور في الدم والغدد الليمفاوية
25	Appendage	ذيل ملحق بجسم أكبر حجماً أو أكثر أهمية
26	Appurtenance	ملحقات فرعية، أدوات
27	Aquifer	حوامل مائية: طبقة صخرية ينساب الماء ضمن مسامها المتصلة
28	Arterial Main	أنابيب رئيسة شريانية: أنابيب مياه رئيسة تؤمن الإمداد بالاحتياجات المائية، أو أنابيب مياه صرف رئيسة

29	Assimilative Capacity	قدرة الهضم والتمثل: قدرة المياه علـــى تلقـــي ميـــاه صرف أو مواد سامة بدون إحداث تأثيرات ضـــارة أو الإضرار بالحياة المائية وصحة من يستخدمون الميـــاه المتلقية
30	Atmospheric Vacuum Breaker	فاصل إخلاء الهواء: أداة تمنع ارتداد محلول غير قابل للشرب إلى نظام مياه الشرب
31	Atomic Absorption Spectrometer	مقياس طيف الامتصاص الذري مقياس يقوم لكـــشف وتحليل الأطوال الموجيـــة الممتـــصة مـــن الطيـــف الكهرومغنطيسي
32	Augmentation	إكثار، تزايد
33	Autoclave	محم: وعاء من الفولاذ غير القابل للصدأ يمكـــن فيـــه بلوغ درجات حرارة وضغط عاليين لـــه اســـتخدامات خاصة في المخابر وتطبيقات خاصة في الصناعة
34	Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion ATAD	هضم هوائي ذاتي الحرارة ومحب للحرارة
35	Autotrophic	ذاتية التغذية عضويات تقوم بتركيـــب غـــذائها مـــن مركبات بسيطة
36	Back Beater	خفاقة خلفية تقوم بمزج الحمأة باستمرار
37	Back Pressure	ضغط مرتد
38	Backflooding	فيض مرتد
39	Backwashing	غسيل مرتد
40	Bacterial Substrate	سطح تخمر بكتيري: المادة أو السطح الذي تعـــيش أو تنمو أو تتغذى عيه البكتيريا
41	Bacteriophage	آكلات الجراثيم والبكتريا
42	Baffle Plates	صفائح صد: صفائح معدنية ثابتـــة أو متحركـــة يـــتم توجيهها للتحكم بمعدل الانسياب
43	Balance	تكافؤ، توازن. تعادل، ميزان
44	Bar Graph	مخطط أعمدة بياني لعرض معطيـــات محـــددة وفـــق متحول كالزمن مثلاً
45	Bar Screen	غربال مصنوع من قضبان معدنية لا من الأسلاك كما

		هو شائع
46	Barrel And Socket	طوق وتجويف
47	Basic Cost Functions	وظائف خدمية أساسية تقدمها منشأة ذات نفع عام للسكان
48	Batch	دفعة مجموعة من المعطيات أو العينات تقدم دفعة واحدة
49	Beads	حبيبات مستديرة متفاوتة الأحجام
50	Bearing	مسند تحميل: أداة تفصل ما بين الأجزاء المتحركة وتتلقى الحمولة (رولمان)
51	Beaver	سمور: أحد القوارض المائية يشتهر ببناءه السدود في الجداول والبحيرات من الأغصان والأوراق
52	Bedding	الطبقة القاعدية التي تتخذ أساساً
53	Bedrock	صخر الأديم: الصخر الذي يأتي تحت التربة الزراعية وتشاد عليه الأساسات
54	Bell & Spigot joint	وصلة تصل طرف أنبوب له شكل كأس مع طرف أنبوب آخر له شكل سدادة
55	Belt Conveyor	حزام ناقل: حزام من الكاوتشوك يتحرك بشكل مستمر يستخدم في المناجم والمصانع ومحطات المعالجة وغيرها لينقل مواد مختلفة من مكان إلى مكان
56	Belt Filter Press	ضاغط مرشح الحزام: أداة لنزع الماء من الحمأة
57	Beneficial Soil Amendment	محسنات مفيدة للتربة: مواد تضم عناصر كلسية وجزيئات من الفيرميكوليت والبيرليت والرماد المتطاير لتحسين مواقع المناجم المهجورة والترب الفقيرة
58	Benthic	كائنات قاعيّة: كائنات حيوانية أو نباتية تعيش على قاع البحيرات والبحار
59	Best Efficiency Point	نقطة التشغيل الأفضل لآلة أو لجهاز يكون فيها الأداء واستهلاك الطاقة نموذجيان
60	Binary Division	انقسام مزدوج تنقسم فيه الخلية الحية إلى خليتين

61	Bingham Plastic Model	نموذج بينجهام اللدن: نموذج مكـون مـن متحـولين لوصف خصائص انسياب السوائل ثقيلة القـوام مثـل سائل حفر الآبار والحمأة وما شابهها
62	Bioassay	مقايسة حيوية: قياس تركيز مادة أو واحتمال تأثيرهـا في الخلايا أو الأنسجة الحية
63	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	احتياج بيوكيميائي للأوكسجين (اكحك)
64	Biocide	مادة سامّة للعضويات الحية
65	Biological Bed	طبقة حيوية
66	Biomass Decay Coefficient	معامل تحلل الكتلة الحيوية
67	Biota	الكائنات الحية (نباتات وحيوانات حقبة ما)
68	Blank	عقيم، خالٍ من أي تركيز أو محتوى مادة معينة
69	Blower	نافخات الهواء: أداة لخلق تيار هواء بهدف تجفيف أو تسخين مادة ما
70	BOD Equivalent Population Load	حمولة السكان المكافئة للـ (اكحك)
71	Body- And Non-Body-Contact Recreation	أنشطة استجمامية وترفيهية تتـضمن أو لا تتـضمن تماساً جسدياً مع الماء
72	Boom	ذراع تطويل: أداة معدنية قابلة للربط مع مقبض أو مع مفتاح آلة للتمكن من إدارته أو فكه بسهولة
73	Booster Pumps	مضخات معززة مضخات احتياطية جاهزة لوضـعها فوراً بالخدمة عند الضرورة
74	Borehole	تجويف حفرة البئر
75	Bourdon Gauge	مقياس بوردون: جهاز لقياس ضـغط الـسوائل فـي مختلف الأوساط (نسبة للفرنسي بوردون)
76	Brackets	دعامة تستند عليها الآلة لتثبيتها وضمان سلامة أدائها
78	Brackish	ماء متوسط الملوحة
79	Brine	ماء شديد الملوحة منبوذ
80	Brush Aerators	مهويات ذات فراشي
81	Bubbler	مولد فقاعات جهاز يمكنه تقديم الهواء إلى الحمأة بشكل فقاعات لزيادة انتشار الهواء فيها تأمين أوسع أكسدة

82	Bubbler Stone	صخر مولّد للفقاعات ذو بنية ونسيج فراغي ما يمكنه من تقديم الهواء بشكل فقاعات لزيادة انتشار الهواء
83	Buffer	محلول منظم: مركب كيميائي يتصف بقدرتــه علــى سرعة التفاعل الكيميائي عند إضافته إليه
84	Bulking	تكتل: إنجذاب الجزيئات في محلول وتجمعها في كتل
85	Buoyant	قابل للطفو: قابلية طفو كتلة من مادة أو كدرة نتيجــة كثافتها المنخفضة بالنسبة إلى المحلول الحاوي عليها
86	Burner	مضرم لهب: أداة في آلة تؤمن إشعال اللهب
87	Butterfly Control Vane Assembly	مجموعة تحكم دوارة فراشة
88	Capability	مقدرة: كفاءة أداء آلة أو جهاز
89	Capture	إمساك: أسر مادة ما لأيــون عنــصر بــالامتزاز أو بالامتصاص مثلاً
90	Carcinogenicity	السَّرْطَنَة: القدرة أو الميل للتسبب بالسرطان والمتمثلة بعدم قدرة الخلايا التالفة في جسم المريض على الموت المبرمج، بحيث يغدو نموها خارج السيطرة بــالترافق مع تغير عمليات الأيض فيها
91	Carrier Gas	غاز حامل
92	Cartridge Or Large Disk Filter	مرشحات لفائفية أو قرصية
93	Casing	إكساء: طبقة تترسب على جدار بئر وتغلفــه وتكــون غالباً من البنتونيت، المكون الرئيسي لسائل الحفر
94	Catalyctic	حفاز، مادة تضاف إلى تفاعل كيميائي لتسريعه
95	Categorical	مطلق: غير مقيّد أو مشروط، صريح
96	Cation	كاتيونية: أيون إيجابي الشحنة
97	Caulk Caulking	مادة مالئة وكاتمة وعازلة للماء تستخدم فــي أعمــال البناء والإصلاحات
98	Cause-And-Effect Relationship	علاقة السبب والتأثير: علاقة تربط مابين نوع العامل المسبب وشدته واستجابة الوســط الخاضــع للمــسبب ومدى تأثره
99	Centrifugal Pumps	مضخات نابذة

100	Check Float Element	قاطع عائم
101	Chemical Oxygen Demand (COD)	احتياج الأكسجين الكيميائي
101	Chromatography	طريقة التحليل اللوني طريقة تهدف إلى تحديد وفصل المكونات الموجودة في محلول اعتماداً على ميلها للامتزاز من قبل مواد صلبة مختلفة
102	Clam	البطلينوس: محاريات من صفيحيات الغلاصم تتراوح أبعادها من 0.1 مم إلى 1.2 م تعيش ضمن رمال المياه البحرية الضحلة
103	Clarification Clarifier	ترويق: فصل الشوائب من محلول
104	Clean Water Act (CWA)	تشريع المياه النظيفة
105	Clear Well	وعاء الماء المرشح: وعاء يوضع تحت المرشحات لجمع الماء المرشح
106	Clear-Well Storage	تخزين المياه المرشحة: جمع وتخزين الماء المرشح في أوعية تحت المرشحات
107	Clogging	انسداد: توقف الانسياب في الأنابيب أو انسداد فتحات المرشحات نتيجة تجمع وتراكم الشوائب أو الفضلات
109	Cluster	عنقود، كتلة، تجمع مكون من مكونات محلول
110	Coagulation	تخثر: انجذاب جزيئات صغيرة الحجم في محلول وتخثرها على شكل كدرات
111	Code	رمز: مجموعة قوانين، دستور شفرة، نظام تشفير، مصطلح
112	Coefficient Of Rigidity	معامل الصلابة: معامل اللدونة تجاه قوة قص
113	Colorimeter	مقياس لوني: جهاز لقياس كثافة اللون
114	Combustibility	القابلية للاحتراق: مقياس لسهولة احتراق مادة بالنار في مكان مفتوح أو في فرن الحرق
115	Combustion	حرق
116	Compactor	أداة رص ودمج
117	Compactor	مدحلة: أداة تستعمل لرص مكونات مادة بتطبيق قوة عليها

118	Compartment	حجيرة: مقصورة تمثل جزءاً من آلة
119	Compliance	التزام: امتثال بالقوانين والتشريعات الناظمة وبالمعايير ومستويات التلوث المحددة وعدم تجاوزها
120	Composite Sampling	اعتيان مركب: جمع عينة من مواقع مختلفة للوصــول إلى تمثيل أفضل للمادة المراد تحليلها
121	Compost	سماد مخلَط: كتلة من مادة عضوية ناتجة مــن تحلــل النباتات تستخدم لتحسين بنية التربة ذات محتوى 2% نتروجين، 0.5-1% فوسفور و2 %
122	Compression Joint	وصلات انضغاطية
123	Compressive Strength	مقاومة الانضغاط: مقاومة مادة للكسر نتيجة تطبيــق قوة ضاغطة
124	Concentrates	ركازة: الجزء المركز من مادة، أو الجزء المترســب بتركيز عال من محلول
125	Concentric	متحد المركز: أشكال هندسية كالدوائر والأقواس ومــا شابهها لها نفس المركز
126	Constriction	تقلص، انقباض
127	Control Console	لوحة تحكم، أدوات التحكم: لوحة تحكم بعمليــة مــن عمليات محطة معالجة أو مصنع أو أية منشأة
128	Control Orifice	فتحات تحكم: فوَّهة يتم التأثير من خلالها بسير عملية من عمليات محطة المعالجة
129	Corporation Stop	قاطع المؤسسة: أداة قطع رئيسة تــتحكم بهــا منــشأة التجهيز بالمياه
130	Corrosivity	اتكالية: قابلية مادة على التفاعل مــع الأحمــاض أو الأسس وتشكيلها مركبات ذوابة تاركة فجوات
131	Counterbalanced	موازن عكسياً: قوة أو تأثير مكافئ ومعاكس
132	Crossover	خطوط تحويل
133	Crustacean	قشريات: صف يتمتع بدرع كلسي كيتيني يغطي معظم الجسم
134	Cryogenic Air Separation	فصل الهواء بدرجات حرارة منخفضة

135	Culture	استنبات: زرع البكتريا أو الأنسجة الحيــة للدراســة العلمية
136	Culture Media	أوساط استنبات
137	Culvert	مجرور مياه قذرة تحت الطريق
138	Curb	مصد، حاجز، حافة الطريق
139	Curb Stop	قاطع كابح
140	Current (Velocity) Meter	عداد سرعة انسياب أو تيار
141	Cushion Chamber	حجرة استنادية ذات حشوة تمكن من تخفيف الحركة
142	Cyclone Separator	فارز أو فاصل عبر حركة إعصارية حلزونية
143	Cyst	كييس: كيس صغير يكون عادة ضمن أنسجة الجــسم وقد ينفصل عنه ليتحرك بحرية. ويحوي الكييس على نواتج تحلل غير اعتياديــة أو بكتيريــا أو منتجــات ميكروبية
144	Data-Logging	تسجيل المعطيات والبيانات
145	Dawning	استجرار
146	Dead-end	طريق مسدود طريق غير نافذ
147	Decantation	إبانة: سكب السائل الطافي من فوق الراسب
148	Declining Growth Phase	طور النمو المتراجع
149	Decomposer	محلل: مادة تتسبب بتحلل العضويات
150	Deficiency	نقص في أحد المكونات أو الاحتياج إليه، خلل في أداء أحد المهام
151	Deflection	انحراف في مسار عملية، انحراف في مسار الأشعة
152	Degradation	تراجع في الأداء أو الكفاءة، تفكك المادة إلى مكوناتها، تراجع في النوعية
153	Degree Of Compaction	درجة تراص المكونات الرئيسية لمادة
154	Dehydration	تجفيف عبر نزع الماء من مادة، مــا يعيــق النــشاط العضوي المجهري وإنقاص حجمها
155	Demineralization	إزالة التمعدنات والأملاح
156	Deodorizing	إزالة الرائحة الكريهة

157	Depletion	نضوب: استنزاف حيز كبير من المادة
158	Desirability	جدارة أو كفاءة: مجمل المحاسن والمزايا التي تتمتــع بها مادة أو عملية
159	Destabilize	قلقلة أو زعزعة استقرار مادة أو نظام، موجودان في حالة توازن
160	Detention Time	زمن الاحتفاظ: الفترة الزمنية التي تبقى فيهـا المـادة محتفظة بالماء أو بمحلول أو بأيونات أو ماشابهها
161	Dewatering	نزع الماء بالتجفيف بالهواء أو بـالفرن أو بعمليـات كيميائية
162	Dialysis	ميز غشائي: فصل الجزيئات الغروية المعلقـة عـن الأيونات المذابة في محلول عبر التباين في معـدلات الانتشار عبر مسام غشاء نصف نفوذ
163	Diastase	تحول النشاء إلى سكر عبر نشاط أنزيمات ألفا وبيتـا وغاما التي تفكك الكربوهيدرات وتحولها إلى سكر
164	Differential Pressure Gauge	عدادات ضغط تفاضلي
165	Diffuser	نافثات
166	Diffusion	الانتشار: عملية انتقال المادة من منطقة التركيز الأعلى إلى منطقة التركيز الأقل
167	Dimer	زوج: معقد جزيئي يتكون مـن جـزيئين متطـابقين مرتبطين ببعضهما البعض
168	Dimictic	ثنائية الانقلاب في الربيع والخريف
169	Discharge	تصريف، طرح، تدفق، تفريغ
170	Disinfection/Disinfection by product (D/Dbp)	نسبة التعقيم إلى النواتج الجانبية للتعقيم
171	Dispense	توزيع كمية من مادة ما إلى حصص، على عدد محدد
172	Dispersion	تشتت أي مادة أو ظاهرة نتيجة انتشارها
173	Distillate	قطارَة: ناتج التقطير عبر التسخين والتبخير ثم تكثيف البخار
174	Diverging	الابتعاد عن الأصل أو التشعب منه
175	Doctor Blade	مجداف كاشط: صفائح معدنية تكـشط الحمـأة فـي

		وحدات المعالجة
176	Dormant	هاجعة: لا تبدي أعراضاً راهنة لكنهـا قـادرة علـى النشاط في ظروف مناسبة
177	Dose-Step Method	طريقة جرعة-خطوة
178	Double Acting	ثنائي الفاعلية
179	Double Check Valve	صمام قطع مزدوج
180	Double Suction	سحب مزدوج
181	Downspouts	ميازيب، ممرات انسياب
182	Downstream	أسفل مجرى النهر، في اتجاه مجرى النهر
183	Dragline	جرافة سلكية: آلة ضخمة تنقل ناتج الحفـر بواسـطة حاوية كبيرة تتحرك معلقة بسلك
184	Drain	يرشح، يسيل، يصرف
185	Drainage Rate	معدل التصريف: كمية التصريف في واحدة الزمن
186	Draw	يجر يتقدم تدريجيا
187	Drill Bit	لقمة الحفر أو ريشة الحفـر: قطعـة تقـوم بـالحفر مصنوعة من الفولاذ لولبية ذات أشكال مختلفة، تركب في مقدمة المثقب
188	Drinking Water Equivalent Level (DWEL)	المستوي المكافئ لمياه الشرب
189	Drip Emitters	نافثات قطرات الماء بمعدل يمكن التحكم به، تـستخدم على نطاق واسع في أنظمة الري الحديثة
190	Drip Pan	مستقطر غسل الرمل: الماء الناتج من غسيل الرمل في وحدات معالجة المياه
191	Drive	مدير، الجزء المسؤول عن التشغيل في آلـة، سـواقة الحاسب
192	Drive Assembly	مجموعة التشغيل أو إدارة التشغيل
193	Drive Chain	جنزير تحريك في آلية ثقيلة
194	Driveways	المعابر الفرعية
195	Drop Structure	بنية تتلقى الصرف الساقط عبر مرشح أو غربال
196	Durability	متانة آلة أو عمرها أو ديمومة أدائها

197	Duration	مدة، استمرارية، بقاء
198	Dyes	أصبغة: مركبات عضوية كثيفة تستخدم لإضفاء ألوان على مواد مختلفة
199	Dynamic	ديناميكي، فعال، متميز بفاعلية مستمرة، متحرك، مفعم بالحيوية
200	Effective Yield	المردود النوعي
201	Effluent	تدفق خارج، صبيب فائِض
202	Ejector	مضخة نافورية
203	Elapsed Time	الزمن المستغرق لأداء عملية ما
204	Elasticity Module	معامل مرونة: مزية جسم عانى تشوهاً بـالعودة إلـى شكله الأولي بعد زوال القوة المسببة لتشوهه
205	Elastomer	مطاط صناعي: بوليمير يتمتع بمواصفات مرونة
206	Electronic Access Devices	معدات دخول الكترونية
207	Elimination	استئصال فيزيائي أو استئصال كيميائي عبر تـشكيل مادة بسيطة ذات جُزَيء كبير خلال سير التفاعل
208	Elm	دردار: شجرة ظليلة تنمو في الغابات أو تربى كشجرة زينة
209	Emulsion	مستحلب، مزيج من سائلين أو أكثر يتوزع فيه أحـدها كقطرات مجهرية أو تحت مجهرية، طبقة حساسة
210	Enactment	سن قانون
211	Encapsulate	يغلف، يحتضن، يحيط
212	Endogenous growth phase	طور النمو الذاتي ضمن سلسلة تطور حشرة ما
213	Energy Gradient	تدرج طاقي: اتجاه شعاع انتشار الحرارة فـي الحقـل الحراري
214	Enforcement	إنْفاذ وفرض قانون أو تشريع إما بحكم الـضرورة أو بالقوة
215	Enumeration	عد إحصاء عددي لمكون ما أو لظاهرة ما
216	Environmental Impairment	تدهور بيئي نتيجة الأنـشطة الـصناعية والتعدينيـة والبشرية المختلفة المتزايدة

217	Environmental Protection Agency (EPA)	وكالة الوقاية البيئية
218	Epilimnion	الطبقة السطحية العلوية الدافئة لبحيرة متطبقة
219	Eutrophication	أترفة: اخضرار مياه البحيرات بسبب نمو مفرط للنباتات نتيجة وفرة المغذيات، والتي تسبب تحللها بقتل الحيوانات المائية لعدم وجود الأكسجين
220	Excretion	مفرزات أو مخرجات بشرية وحيوانية
221	Exponentially	أسي: تكاثر متسارع وفق أس رياضي
222	Exposure	تكشف أو تعرض لظروف فيزيائية أو كيميائية أو مناخية قاسية أو لمخاطر أو لضرر
223	Extension	تمديد: إضافة فترة زمنية لعملية ما، أو إضافة قطع إضافية لإداة ما لإطالتها أو تكبيرها
224	Extrusion	انبثاق: إجبار محلول على المرور عبر سلسلة من الوحدات لإكسابه خصائص معينة أو للتخلص من مكونات محددة متضمنة فيه
225	Eytosine Thymine	الأيتوسين والثيامين مركبان عضويان يحويان النتروجين والكربون ومجموعة الميثيل يمثل الثيامين أحد المكونات الأربعة لحمض DNA
226	Facility	منشأة أو مرفق يقوم بتقديم خدمات أساسية لاحتياجات يومية ضرورية للمجتمع ورفاهيته
227	Facultative	اختياري، كائن قادر على القيام بأكثر من دور ما أو نمط حياتي ما دون أن يقتصر على واحد منها
228	Feasible	ممكن التحقيق، ملائم، مناسب، عملي، معقول
229	Feast- And-Famine Cycle	حلقة الوفرة والندرة
230	Features	ميزات أساسية تمثل جزءاً كبيراً وأساسياً من المظهر العام
231	Fecal Oral Route	الطريق البرازي الفموي: مسار انتقال الممرضات المختلفة من البراز وصولاً إلى الفم فالجهاز الهضمي
232	Feeder	رافد إمداد فرعي بمادة ما
233	Fertilization	تسميد الأرض بإضافة الأسمدة الطبيعية أو الصناعية،

		تخصيب أو تلقيح بشري أو حيواني أو نباتي
234	Filament	مكونات خيطية أو عصوية توجد بشكل خـاص فـي البنى النباتية والحيوانية
235	Fill And Discharge Basin	حوض ملء وتصريف
236	Filter Beds	السويات القاعدية الحـصوية للمرشـح ترتـب وفقـاً لأحجامها
237	Filtrate	راشح: الماء الناتج من مروره ضمن مرشح
238	Finished Water	مياه نهائية: الناتج النهائي لعملية المعالجة في محطـة معالجة
239	Fire Flow	انسياب ماء الحريق: كميات المياه المختزنة لاحتياجات الحرائق والطوارئ
240	Firewalls And Router Packet	جدران نارية ورزمة المعبر: أسلوب وقائي يطبق منعاً لانتشار ألسنة اللهب ضمن الغابات والمناطق السكنية، أما في عالم الحواسـب فهـي بـرامج تمنـع تـدفق المعلومات من حاسب لآخر
241	Fitting	توصيلات وتجهيزات تركب على نهايات الأنابيب في المنازل والمكاتب وغيرها للتحكم فـي الاسـتخدامات المختلفة للمياه
242	Flagellated	سوطية الشكل
243	Flanged	ذو حافة بارزة
244	Flash Evaporator Chambers	غرف التبخير السريع يتم فيه رفع درجـة الحـرارة بشكل مفاجئ ما يتسبب بتبخير سريع
245	Float-Operated Valve	صمام عائم
246	Flocculation	تكدر وتكدس وتجمع قليل التماسك لجزيئـات وكتـل صغيرة إلى بعضها
247	Flocs	كدرات، ندفات تجمعات ضعيفة التماسـك لجزيئـات وكتل صغيرة مع بعضها
248	Floes	جليد طاف على مياه البحر
249	Flooding	غمر، طوفان، فيضان: ارتفاع منسوب تجمـع مـائي

		طبيعي أو صناعي أو منسوب مياه الصرف، وانسيابه على سطح الأرض سواء في المنـــاطق الطبيعيـــة أو المدنية الجافة.
250	Flow Meter	مقياس انسياب مياه الفيضان
251	Fluctuation	تأرجح: صعود وهبوط غير منتظم لمـــادة مـــا، كمـــاً وتكراراً
252	Flume	قناة صنعية لنقل المياه، مسيل
253	Fluorosis	تسمم الأسنان بالفلور (تبرقش الأسنان): حالة مرضية مزمنة تتلون فيها الأسنان بالأصفر إلى البرتقالي نتيجة تناول مركبات الفلور لفترة زمنية طويلة
254	Flushing	شطف: غسل بكميات كبيرة من المياه في فترة زمنيـــة قصيرة جداً تكون أحياناً لحظية
255	Fomite	أوعية معدية: أوعية وأدوات يتسبب استخدامها بنقـــل العدوى بالمرض
256	Food-To-Microorganism Ratios F/M	نسبة غذاء-متعضيات مجهرية غذ/عم
256	Force Main	خط رئيس مضغوط: خط من الأنابيب تكـــون عـــادة كبيرة الأقطار تضخ فيها مياه الشرب بـــضغط عـــال كاف لنقلها إلى مواقع المستهلكين، أو تضخ فيها ميـــاه الصرف بضغط كاف لنقلها من محطة ضخ إلى أخرى وإيصالها بالنهاية إلى محطة المعالجة
257	Forced Vortex	دوامية قسرية: صفة لحركة المياه الدورانيـــة بعكـــس عقارب الساعة عند اندفاعها نحو الأسفل تحت تـــأثير قوة مفروضة تجبرها على الانسياب للأسفل
258	Forced-Air Ventilation	تهوية بهواء مدفوع بقوة: تهوية صناعية بتيار هوائي موجه بقوة
259	Foul	كريه، قذر، فاسد، عفِن، موحل
260	Frequency	تواتر، تكرار، تردد عدد الأمواج المـــارة فـــي نفـــس النقطة خلال واحدة الزمن
261	Full-Scale	بالمقياس الطبيعي

262	Fuming	هائج ذو أبخرة
263	Gaskets	جوانات مطاطية: حلقة أو طبقة من المطـاط أو مـن مادة أخرى تمنع التسرب ضمن المحرك أو آلة أخرى وتأمين إطباق كامل
264	Gastrointestinal	الجهاز المعدي المعوي
265	Gate	حاجز متمفصل يستخدم لفتح وإغلاق فتحة في جدار
266	Gauge	مقياس جهاز يستخدم لتقدير ما إذا كانت الأبعاد أكبر أو أصغر من قيمة مرجعية
267	Gear Reducer	مبطئ مسننات السرعة
268	Genera	جنس: مرتبة في التصنيف الحيوي تقع تحت العائلـة وفوق النوع
269	General-Service Compound Meter	عداد خدمة عامة مركب
270	Genetic	مورثاتي: متعلق بالمورثات والأصل المشترك.
271	Gooch	زجاج مصهور
	Gooseneck	وصلة منحنية (عنق الأوزة) أنبوب منحني له شكل S
272	Grab Samples	عينة عشوائية
273	Grade Line	خط التدرج: خط مقسم إلى وحدات لبيان مستوى سائل في وعاء على سبيل المثال
274	Graduate Pipette	سحاحة مدرجة أداة تستخدم فـي المعـايرة الحجميـة يظهر على جانبها تدريجات تظهر حجم محلول الـذي استخدم في المعايرة
275	Granular Activated Carbon (GAC)	كربون حبيبي منشط: حبيبات من فحم نبـاتي المنـشأ معالج كيميائياً لتحسين خصائصه الامتزازية، فغـرام واحد من الكربون المعالج له سطح نوعي يكافئ 500 متر مربع
276	Grated Cover	غطاء شبكي: غطاء من الحديـد الـصب ذو فتحـات يوضع على فوهات فتحات المجاري
277	Gridiron	حديد مشبك: هيكل من قضبان معدنية متوازية يستخدم لأغراض متنوعة من بينها اسـتخدامه كغربـال فـي

		محطات المعالجة
278	Grinder	مطحنة، رحى طاحنة تستخدم لتجزئة المواد إلى كسارات محددة الأبعاد
279	Grout	حقن طلاء أو مادة عازلة مالئة لمنع التسرب
280	Guide	نتوء توجيه للإرشاد إلى كيفية تركيب ووصل قطعة بأخرى ضمن آلة
281	Guideline	دليل: خط توجيه للإرشاد إلى كيفية تركيب ووصل قطعة بأخرى ضمن آلة
282	Gutter	ميزاب، قناة ضيقة على جانب الطريق لتصريف المياه
283	Hand wheel	حلقة الصمام اليدوية: عجلة دائرية معدنية لفتح وإغلاق الصمام يدوياً في حال انقطاع التيار الكهربائي أو حدوث عطل
284	Handrail	متكأ: درابزين مركب على أعمدة أو مثبت على جدار للتمسك به والتثبت عند المسير
285	Hazardous waste	نفايات خطرة نتيجة احتوائها على مواد تتباين درجة خطورتها وسميتها
286	Head	علو: الضغط المتولد عن وجود جسم مائي على ارتفاع معين
287	Headers	رأسيات: خزانات مرتفعة بحيث تؤمن العلو المطلوب
288	Helical	لولبي، حلزوني
289	Helix	لولب، حلزون
290	Helminthes	ديدان معوية: كديدان الحرقص والدودة الشريطية
291	Hepatitis	التهاب الكبد: مرض له أنماط وأعراض ومسببات مختلفة وطرق عدوى مختلفة من بينها الغذاء الملوث بالبراز أو بالحقن الملوث
292	Herbivore	مقتاتات بالأعشاب: طيف واسع يبدأ من الحشرات إلى الحيوانات الثديية تعيش على الأعشاب فقط
293	Heterophobic	كراهية الغير أو العدوانية تجاه الغير
294	Heterotrophic	غيرية التغذية

295	High Pressure Air Burst	نظام اندفاع هواء عالي الضغط
296	High Service Pumps	مضخات الخدمة العالية
297	High-Purity Oxygen	أكسجين عالي النقاء
298	Hollow	مجوّف
299	Homophobic	الميل إلى الغير
300	Hood	قبعة أو غطاء عازل للماء قابل للطي لتغطية المراجل أو الأحواض بهدف الوقاية من الأبخرة أو الانسكابات
301	Hookworm	ديدان خطافية: ديدان تعيش في الجهاز المعوي
302	Hopper	وعاء قمعي الشكل (قادوس): وعاء يحوي مواد مفتتة أو سائلة يضيق باتجاه الأسفل حيث ينتهي بفتحة لتفريغ محتوياته
303	Horse Power Hp	قدرة حصانية: مقياس لقدرة محرك وتعادل 760 واط
304	Hot Plate	طبق تسخين، أداة تسخين كهربائية مسطحة، تعتبر مكوناً أساسياً في كافة المخابر
305	Hot-Air Sterilizing Oven	فرن تعقيم بالهواء الساخن
306	Hydrant	فوهة حريق تنتهي ببزبوز يمكن ربط خرطوم سيارة الإطفاء به، سكر رئيسي، حنفية صنبور
307	Hydrolysis	الحلمأة: تفاعل كيميائي مع الماء يتم خلاله تبادل المجموعات الوظيفية إذ يتشكل مركبان أحدهما حاوياً على H والآخر على OH
308	Hydrophilic	محب للماء
309	Hydrophobic	كاره للماء
310	Hydropneumatic	مائي هوائي
311	Hypolimnion	الطبقة العميقة الباردة لبحيرة متطبقة وتكون داكنة وراكدة
312	Immunize	تحصين ضد العدوى وتكون عادة بالتلقيح
313	Immunofluorescence Assay (FA)	اختبار تألق مناعي: اختبار يتم خلاله قياس تألق الجسم المعرض لإشعاع ذي طول موجي محدد، لتقدير مدى المناعة

314	Immunomagnetic Separation	فصل مناعي مغنطيسي
315	Impeller	دفّاع: الجزء الدوار في مضخة نابذة أو ضاغط أو ما شابهها، مصمم لتحريك سائل أو محلول في آلــة، أو لقياس السرعة أو المسافة المقطوعة في المحلول
316	Impounded	محتجز
317	Inadvertent	غير متعمَّد أو مقصود، عرضي
318	Incineration	ترميد: تفكيك المادة بالحرق
319	Incubator	حاضنة: جهاز يستخدم لتوفير بيئة واقية ذات شــروط مناسبة من الإمداد بالأكسجين ودرجة الحرارة والضوء
320	Indicator Organisms	عضويات دالة على وجود تلوّث
321	Indigenous	مستوطنة، فطرية، أصيلة: تصدر أو تحــدث بــشكلٍ طبيعي في مكان محدد
322	Inert	خامد: يفتقر إلى القدرة على الحركة
323	Infective	معدية: قادرة على إحداث العدوى
324	Infiltration	ارتشاح، تسرب، تغلغل تدريجي طفيف عبــر مــسام وسط أو إلى وسط آخر
325	Inflow	انسياب إلى الداخل: الحركة أو الإنسياب إلــى داخــل وسط آخر
326	Influent	تدفق داخل: تدفق يندمج بدخوله مع تدفق آخر
327	Ingestion	مقدار من مادة يدخل إلى الجــسم إمــا بــالابتلاع أو بالامتصاص
328	Inhibiting	إعاقة، تثبيط عملية أو فعل
329	In-Line Mixing	مزج خطي على التسلسل مرحلة إثر مرحلة
330	Inoculation	تطعيم، تلقيح: إدخال عامل غير فعّال في عضوية، أو إدخال خلايا أو عضويات في وسط استنبات
331	Insecticide	مبيد حشري: مادة من مجموعة واسعة مــن المــواد الكيميائية تستخدم لقتل الحشرات
331	Installation	تركيب تجهيزات أو تمديدات كهربائية، تنصيب برامج حاسب

332	Insurance Service Office (ISO)	مكتب خدمات التأمين
334	Intake Capacity	قدرة مادة على الامتصاص أو السحب
335	Interconnections	وصلات بينية بين أنابيب رئيسية أو بين وحدات بنيوية
336	Interest And Stipulated Reserves	الفوائد والاحتياطيات المالية المشروطة بقيود محددة
337	Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule	القانون المؤقت للمعالجة المحسنة للمياه السطحية
338	Interlock	تشابك: مشبك: آلة أو أداة للوصل أو التنسيق مابين وظائف المكونات
339	Intermittence; Intermittency	تقطع: صفة لعدم استمرارية انسياب سائل أو الإمداد بمواد أو توريد بضائع
340	Inversely Proportional	متناسب عكساً: ازدياد كمية من مادة نتيجة نقص كمية مادة أخرى
341	Iodometric Method	طريقة اليودية: طريقة معايرة حجمية يستخدم فيها اليود ككاشف دال على انتهاء التفاعل.
342	Jackson Turbidity Unit (JTU)	وحدات عكورة جاكسون
343	Jar Test	اختبار الارتجاج: طريقة مخبرية لتقدير الظروف المثالية لمعالجة المياه ومياه الصرف، يتم عبرها التحكم بـ pH وجرعة البوليميرات وسرعات المزج
344	Jet Nozzle	بزباز نفاث: فتحة ضيقة في نهاية انبوب أو خرطوم تتحكم بقوة نفث سائل أو غاز أو هواء
345	Joint	وصلة، مفصل مابين مكونين في آلة أو بين أنبوبين أو ما شابه
46	Junction	نقاط اتصال مابين مكونين في آلة أو بين أنبوبين أو ما شابه
347	Keypad	لوحة مفاتيح مجموعة من الأزرار موجودة في لوحة صغيرة ملحقة بآلة أو بحاسب أو بجهاز كهربائي للتحكم بمختلف العمليات
348	Knife Gate	بوابة سكين
349	Labeling	وسم: سمة أو رمز يدون على قطعة من الورق أو

		بالبلاستيك تربط بجسم ما تحوي معلومات محددة عنه
350	Lagoon	هور، لاغون: بحيرة ضحلة ذات مياه هادئة ذات اتصال بالبحر ويحجزه عنها حواجز رملية أو جزرية أو أرصفة مرجانية
351	Laminar	رقائقي: انسياب سائل بشكل لطيف في ممرات منتظمة
352	Land Application	استخدام النفايات في الأرض عبر الدفن أو الخلط مع تربة منطقة ما
353	Landfill	مقلب ردم النفايات
354	Landing Brackets	دعامات الاستناد: كتل بارزة لقطعة في آلة ترتكز وتستند إليها قطعة أخرى من مكونات الآلة
355	Lead Contamination Control Act	تشريع مراقبة تلوث بالرصاص
356	Leak Detector	كاشف التسرب
357	Lime Slurry	رائب الجير [Ca(OH)2]، مزيج سائل ثقيل القوام ناتج من إذابة CaO بالماء
358	Limitations	قيود تفرض على استخدام مادة ما بنسب تتجاوز حدوداً موضوعة مسبقاً
359	Line Shaft	عمود انتقال الحركة في آلة
360	Lipolysis	تحلل دهني: تفكك الدهون بالحلمأة
362	Logarithmic Probability Paper	ورق احتمالية لوغاريتمي: ورق خاص ستخدم لتحميل بيانات ذات قيم متباينة للغاية
363	Logger	مسجل البيانات
364	Looped Or Grid System	نظام حلقي أو شبكي
365	Low Lift Pumps	مضخات رفع بسيط
366	Malfunction	قُصُور، خَلَلٌ في آلة أو نظام تشغيل
367	Management Operation And Maintenance Program (MOM)	برنامج الإدارة والتشغيل والصيانة
368	Manholes	فتحات المجارير: فتحات ذات أغطية تتوزع في الشوارع بتباعدات محددة تمكن من الوصول إلى المجارير

369	Manning Equation	معادلةماننغ: معادلة تجريبية وضعت من قبل الفرنسي غاوكلر 1867 وطورها الألماني ماننغ 1890 لحساب الانسياب في قناة مفتوحة أو على سطح حـر بتـأثير الجاذبية
370	Manometer	مانومتر: مقياس ضغط باستخدام سائل يكـون عـادة الزئبق
371	Manufacturing Tolerance	تفاوت مسموح به ميكانيكياً أثناء التصنيع
372	Manure	روث، سماد: مواد عضوية تتكون من بـراز وبـول الحيوانات الداجنة وتستخدم لتسميد الأرض
373	Maple	قيقب: أحد أنواع أشجار أمريكا الشمالية يزرع لتزيين المروج والحدائق والشوارع
374	Master Meters	عدادات رئيسة
375	Matrix	أمية: مكونات مادة ما منتظمة ومرتبط بعضها بالبعض مشكلة هيكل المادة
376	Maturation Ponds	برك إنضاج: برك تجمع فيها الحمأة لتتحلل تدريجياً
377	Maximum Average Month	أقصى متوسط شهري
378	Maximum Contaminant Level Goal (MCLG)	هدف المستوى الأعظمي لملوث
389	Maximum Day	اليوم الأقصى
380	Maximum Geometric Mean Concentration Test	اختبار متوسط التركيز الحجمي الأقصى
381	Maximum Hourly Flow	الانسياب الساعي الأعظمي
382	Mean	وسطي الانسياب الساعي
383	Measuring Chamber	حجرة قياس: حيز من آلة أو أداه قيـاس ذات حجـم محدد يتم فيها حساب خصيصة محددة
384	Membrane	غشاء: طبقة رقيقة تمثل الحدود الخارجية لخلية حيـة، أو حدود حجيرة خلوية داخلية
385	Meningitis	التهاب السحايا
386	Mesh	فتحة غربال، مادة مصنوعة مـن أسـلاك أو خيـوط متشابكة
387	Metabolism	أيض: تفاعلات كيميائية تحدث في كافة الخلايا الحيـة

		لتأمين الطاقة لعمليات الحياة، وتركيب مواد جديدة
388	Metal Finishing	استخلاص المعادن: الحصول على المعادن بـدرجات نقاء عالية عبر عمليات تعدينية مختلفة
389	Methemoglobinemia	ميتهيموغلوبينيَّة الدَّم: مرض يصيب خضاب الدم عبر تشكل صيغة مؤكسدة ثابتة للخضاب لايمكنهـا تقـديم الأكسجين للخلايا للأنسجة
390	Microfiltration MF	ترشيح ميكروي: عملية ترشيح بأغشية ميكروية المسام (0.05 –10) µm لإزالة الغرويات والمواد المعلقة ، وفي الترويق التخمير والكتلة الحيوية
391	Mixed Liquor	محلول ممزوج
392	Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)	مواد صلبة معلقة في محلول ممزوج
393	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)	مواد صلبة معلقة طيارة في محلول ممزوج
394	Mixed Solution	محلول معلق في حوض التهوية يحـوي متعـضيات مجهرية باسم المحلول الممزوج
395	Modified Proctor Test	اختبار المراقب المعدل: اختبار يستخدم في الهندسـة الجيوتقنية لتقدير الكثافة الأعظمية للتربـة أو لتجمـع حبيبات، يمكن بلوغها عملياً بدرجات رطوبة مختلفـة. حيث ترص التربة في قالب معيـاري بتـأثير طاقـة تراص محددة وسويات رطبة مختلفة، يتم من خـلال نتائج الاختبار تقدير الكثافة الجافة الأعظمية والمحتوى الرطوبي الأمثل
396	Modular	منتظم، معيارى، تركيبى
397	Modulating Valve	صمام تعديل
398	Module	وحدة هندسية تعتمد لتنظم أبعاد ونسب وتشييد المبنـى أو المنشأة
399	Mold	عُفُونَة: كتل واضحة من الميسيليوم الناتجة عن فـساد الطعام وتحلل النباتات عبر نشاط الفطريات
400	Molting	طرح دوري: طرح حيوان لجلده القـديم، أو أجـزاء، (قرون، أظافر،..) واستبداله بآخر جديد

401	Moratorium	تعليق أو توقيف مؤقت لنشاط منشأة ما
402	Mortar	ملاط: مادة جامعة بين مكونات مادة ما
403	Mortuary	قاعة حفظ الجثث
404	Mottling	تبرقش: تلون الأسنان نتيجة التسمم بالفلور إثر استخدام مديد لمياه حاوية على نسب عالية من الفلور
405	Mounding	تراكمي، متزايد، مرتفع
506	Mount	منصب مرتفع لتدعيم تثبيت قطعة في آلة
407	Municipal Waste Water System	أنظمة جمع مياه الصرف
408	Mussel	بلح البحر: أحد اصناف المحاريات البحرية منتشره عبر العالم (5-15 سم)، تنتشر بعض أنواعها في المياه العذبة بالولايات المتحدة وشرق آسيا. تلتصق قواقع بلح البحر بالأجسام أو تتجمع مع بعضها البعض، أو تدفن نفسها في الوحل أو الرمل.
409	Myocarditis	التهاب العضلة القلبية
410	Nanofiltration	ترشيح نانوي: عملية ترشيح خاصة تختار عندما لا يكون التناضح العكسي أو الترشيح فوق ميكروي الخيار الأمثل، إذ يوفر تطبيقات فصل غير مجدية اقتصادياً مثل إزالة المعادن، إزالة اللون، إزالة الملوحة
	Natant	أجسام خفيفة طافية على سطح سائل
412	National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)	النظام الوطني للتخلص من طرح الملوثات
413	National Research Council (NRC)	مجلس البحوث الوطني
414	Needed Fire Flow (NFF)	انسياب ماء الحريق الضروري
415	Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior Backfill.	اختبار الضغط السلبي للهواء قبل الردم
416	Nephelometer Turbidity Unit (NTU)	وحدات عكورة نيفيلومترية: وحدات عكورة باستخدام النيفيلومتر، وهو جهاز يقيس كمية جزيئات المواد الصلبة المعلقة لغرويات سائل أو غاز باستخدام مصدر

		حزمة ضوء وكاشف ضوئي يميل بزاوية 90° علـــى المصدر. كمية الجزيئات تابعة للضوء المنعكس مـــن على الجزيئات إلى الكاشف، إضافة إلى شكلها ولونها وإلى عكسها للضوء.
417	Nessler tubes	أنابيب نيسلر: نمط بسيط من مقاييس اللـــون لتحديـــد التركيز، حيث يستخدم انبوبان يوضع في الأول كاشف مع كمية محددة من العينة المراد اختبارها فيتغير لونها وتستخدم كمرجع للمقارنة، يوضع في الأنبوب الثـــاني العينة المراد اختبارها وتمزج جيداً وترشح ثم تقـــارن كثافة لونها بكثافة لـــون الأنبـــوب الأول المرجعـــي ويحسب التركيز باستخدام معادلات محددة
418	Neutralization	تحييد: إلغاء الشحنة السالبة أو الموجبة لأيون ما فـــي محلول بإضافة مادة إليه يتسبب ذوبانها بتحييد الشحنة، أو تحييد حامضية أو قلوية محلول بإضافة مادة مناسبة للتحييد
419	Nitrification	نترتة: تحويل مركبات الأمونيا والمركبـــات الحاويـــة على نتروجين إلى نترات أو نتريت
420	Node	نقطة في شبكة تتقاطع فيها الخطوط أو تتفرع منها
421	No-Observed-Adverse-Effect Level NOAEL	مستوى عدم ملاحظة تأثير عكسي
422	Norm	معيار: انموذج
423	Not-For-Profit	لا ربحية
424	Nozzle	بزباز: فتحة ضيقة في نهاية أنبوب أو خرطوم تتحكم بقوة نفث سائل أو غاز أو هواء
425	Nursery	مشتل: مكان يتم فيه أعداد الغراس والشتول وبيعها
426	O & M	التشغيل والصيانة
427	Objectionable	كريه، قبيح، بغيض
428	Obligate	يلزم بنمط حياتي مفروض ومحدد، يلزم بواجب
429	Occupational Safety And Health Administration (OSHA)	إدارة الأمان والصحة المهنية

430	Office High-Rises	مكاتب في أبنية متعددة الطوابــق مخصــصة بــشكل أساسي لاستخدامها كمكاتب .
431	Oligotrophic	جسم مائي فقير نسبياً بمغذيات النبات ويكــون غنيــاً بالأكسجين بازدياد العمق
432	On-Line	خط مباشر : فوري
433	Oocyst	بيضة متكيسة غير ناضجة
434	Oocyte	خلية بيضية موجودة في المبيض يحتمل انقسامها
435	Ordinances	قوانين
436	Orifice	فتحة في آلة يتم عبرها تخفيــف الــضغط أو الــتحكم بتشغيل الآلة
437	Osteoporoses	هشاشة العظام: مرض يتسم بخسارة عامة في كثافــة العظام متسبباً بضعف هيكلي
438	Outfall Sewer	مصب نهر أو مصب مجرور في جسم مائي
439	Overdraft	سحب جائر للمياه الجوفية يفوق ما تسمح به الموازنة المائية
440	Overfertilization	تسميد جائر لأرض زراعية يفوق احتياج التربة
441	Overflow	مفيض
442	Oxidation Reduction Potential (ORP)	كمون الأكسدة الإرجاع: فرق جهد كهربائي ناتج مــن وجود جبهة أكسدة إرجاع
443	Oxygen Depletion	استنزاف الأكسجين
444	Oxygenation	أكسجة: إغناء بالأكسجين
445	Packed -Tower Decarbonator	مزيل فحم برجي مرصوف بحشوات
446	Packing	حشوة، سدادة
447	Paddle	مجداف لتحريك السوائل في أحواض التهوية بمحطــة معالجة
448	Paralytic	شلل الأطفال
449	Parameter	متحول فيزيائي أو رياضي
450	Parshall Flume	قناة بارشال الصنعية: قناة صنعية مفتوحة تركب فــي خندق أو قناة لحساب سرعة انسياب مياه الــصرف أو

		التدفق الخارج من محطة معالجة أو مياه الري
451	Pasteurization	بسترة تعقيم الحليب بدرجة حرارة 63° لمدة 30 دقيقة كافية لقتل العضويات الممرضة
452	Peak Hourly Rate	معدل الذروة الساعي
453	Peak Pumpage	ضخ الذروة
454	Pelletization	تكور: تجمع حبيبات ناعمة مع بعضها بعضاً لتأخذ شكل كريات كثيفة متراصة حجمها بضعة ميلمترات
455	Penetrometer	قائس الاختراق: أداة لقياس قساوة مادة عبر قياس عمق أو معدل اختراق قضيب مدبب أو إبرة بتأثير قوة محددة
456	Peristaltic Pumps	مضخات تموجية
457	Permeablility	نفوذية: قابلية مادة على السماح لسائل أو لغاز بالمرور عبر المسام الموجودة فيه
457	Pervious	نَفوذ: يسمح للماء أو الغازات بالمرور من خلاله
458	Petresciblity	قابلية للتعفن
459	Photoamplyfier	مضخم ضوئي
460	Photoelectric Colorimeter	مقياس لوني ضوئي كهربائي اعتماداً على قياس الجسيمات المشحونة المنطلقة من مادة نتيجة امتصاصها طاقة إشعاعية
461	Pili of Hair Cells	بيلي شعر الخلايا : جزء ملحق ببصيلات الشعر يتسبب بجعل الشعر عمودياً على البشرة
462	Pilot Studies	دراسات تجريبية استطلاعية
463	Pint	وحدة لقياس السوائل تبلغ ثمن غالون ما يكافئ نصف لتر تقريباً
464	Pipette Container	حاملة سحاحات تستخدم على نطاق واسع في المخابر
465	Pitot Gauge	قائس بيتوت: جهاز لقياس سرعة انسياب السوائل في مختلف الأوساط الطبيعية والصناعية (نسبة إلى الفرنسي بيتوت في القرن الثامن عشر ثم طوّر من قبل دارسي القرن التاسع عشر) .

466	Pitting	حفر: التسبب بتشكل حفر وفجوات وتـضاريس فـي سطح ما
467	Plain Sedimentation	ترسيب بسيط وواضح
468	Plan View	منظر علوي لمخطط
469	Planktonic	معلقة: نسبة إلى المعلقات (البلانكتون) وهي عبارة عن عضويات مجهرية تطفو على سـطح الميـاه العذبـة وتتكون بصورة رئيسة من المشطورات والبروتـوزوا والقشريات الدقيقة
470	Plaque	صفيحة خلية مدمرة
471	Plaque Forming Unit	وحدة تـشكل الـصفائح: مقيـاس لعـدد الجزيئـات كالفيروسات القادرة على تشكيل صفائح فـي واحـدة الأحجام، وهو مقياس كيفي أكثر من كونه كمياً
472	Plate-And-Frame Filter Press	مرشح الصفيحة والإطار: تصميم هذا المرشـح هـو المعتمد للترشيح العميق في الـصناعات الـصيدلانية والغذائية ومواد التجميل، وفي منشآت توليد الكهرباء، وهو الترشيح الأخفض كلفةً لواحدة السطح من السائل الذي يتم ترشيحه
473	Plot	مخطط بياني
474	Plow	جرف، جرافة، حرث
475	Plug Flow	انسياب ساد
476	Plug Valve	صمام سادّ
477	Plumbing Stack	انبوب تنفيس في شبكة الأنابيب
478	Plunger	محراك
479	Polishing Pond	برك تصفية المحاليل بتركها فيها لفترة زمنية محددة
480	Poly Vinyl Chloride PVC	البولي فينيل كلوريد: بوليمير عـضوي مكـون مـن معالجة المونومير فينيل كلوريد بالبيروكسايد
481	PolyEthelyne PE	بولي إيثيلين: بولميرات تمثل أوسع صفوف البلاستيك الذي له تطبيقات واسعة جداً ومتزايدة فـي صـناعة طيف واسع من المواد

482	Poplar	حور: شجر ينمو في نصف الكرة الشمالي قصير العمر نسبياً، يستخدم في الصناعات الخشبية وصناعة الورق
483	Porosity	مسامية: النسبة المئوية لحجم الفراغات في مادة ما إلى حجمها الكلي
484	Positive-Displacement Water Meter	عداد مياه الإزاحة الإيجابية
485	Powdered Activated Carbon PAC	مسحوق الكربون المنشط: مسحوق فحم نباتي المنشأ معالج كيميائياً لتحسين خصائصه الامتزازية، فغرام واحد من الكربون المعالج له سطح نوعي يكافئ 500 متر مربع
486	Prechlorination	الكلورة المسبقة
487	Precipitate	راسب متشكل من محلول
488	Predator Prey	المفترس والضحية: مصطلح لكائنات تتغذى على كائنات أخرى
489	Premature	قبل أوانه، خديج، مبكر
490	Preparation Utensils	أطباق تحضير
491	Presence-Absence Technique	تقنية الوجود-الغياب: تقانة تستخدم وجود عضويات بأعداد محددة مؤشراً على وجود تلوث
492	Pressure Gauge	قائس الضغط: أحد أدوات لقياس الضغط
493	Pressure tight	كاتم للضغط: عازل للضغط
494	Pressure Vacuum Breaker	فاصِل إخلاء ضغط: أداة تمنع ارتداد المياه الملوثة إلى مياه الشرب
495	Progressing Cavity Pumps	مضخات التكهّف المتقدم
496	Progressive	متوالٍ، متدرّج، تصاعدي
497	Propelling	دفع إلى الأمام دسر إلى الأمام
498	Proportional meters	عدادات نسبية
499	Proteolysis	تحلل بروتيني إلى مركبات أبسط
500	Psychoda	ذباب المرشح، سيكودا
501	Pump Bowl	تجويف المضخة

502	Pumper	ضخاخ: أداة تقوم بضخ الماء أو الهواء أو غاز ما من مكان إلى آخر أو من منسوب إلى آخر
503	Pumping	ضخ: عملية ضغط أو رفع السوائل من منسوب إلـــى آخر أو نقلها من مكان إلى آخر
504	Pumping Capacity	قدرة الضخ: استطاعة مضخة على ضخ كميات محددة من سائل
505	Pumping Test	تجربة ضخ: ضخ الماء من بئر جديدة لمدو 72 ساعة بلا توقف ومراقبة هبوط المنسوب الستاتيكي للماء في البئر
506	Pumps Peristaltic	المضخات التموجية المتعاقبة
507	Pumps Pneumatic Ejector	المضخات النافورية الغازية
508	Punch Card	بطاقة مثقبة: بطاقات مثقبة وفق ترتيب معين لبرمجـــة الحواسب القديمة
509	Purification	تنقية: إزالة الشوائب أو الملوثات
510	Quanti-Tray	صينية كوانتي: طريقة سهلة وسريعة ودقيقة لإحصاء قولونيات الإيشيريشيا كولي
511	Quarantine	حجر صِحِّيّ: احتجاز الأشخاص أو الحيوانات المشتبه بإصابتهم بمرض معدٍ حتى التثبت من خلوهم منه
512	Radical	جذور: جُزَيء مكوّن من عنصرين أو أكثـــر يمتلـــك الكتروناً حراً على الأقل
513	Rainfall Duration	مدة الهطول المطري: مدة استمرار الهطول المطـــري وتقاس بالدقائق وغالباً بالساعات
514	Rainfall Intensity	كثافة الهطول المطري: غزارة الهطـــول المطـــري، وتقاس بالميليمتر
515	Raking Assembly	مجموعة تجريف: مجموعة من المعدات تقوم بتجريف الرواسب من قيعان الأحواض في محطات المعالجة
516	Rammers	رجاجات: معدات متنوعة يتسبب فيها سطح مستوٍ من الحديد القاسي يضرب التربة بشكل متكرر، بتماســكها واندماجها وتصلبها

517	Rational method	طريقة الحصص المتساوية
518	Reagents	كاشف كيميائي: مادة تضاف إلى تفاعل كيميائي يشير تغير لونها إلى انتهائه
519	Recessed End	نهاية معزولة في شبكة أنابيب
520	Reciprocating Pumps	المضخات الترددية
521	Recirculation And Transfer Pumps	مضخات إعادة التكرير والنقل
522	Reclamation	استصلاح: تحويل أراضٍ بور إلى أراض مستثمرة زراعياً
523	Recovery	مردودية: نسبة استرداد مواد مفيدة من فضلات منبوذة
524	Recycling	إعادة تدوير: إعادة تصنيع أشياء مستخدمة ومنبوذة بعد استردادها انتقائياً
525	Reduced-Pressure-Principle Device	جهاز أساسي للضغط المنخفض
526	Reference Dose RFD	الجرعة المرجعية: الجرعة القصوى المقبولة من مادة سمية تدخل الجسم عبر الفم، وتقدر الجرعة عادة باستعمال المبيدات الحشرية
527	Refractory	عصيّة: مواد غير قابلة للتغير أو التفكك بتأثير الحرارة تستخدم في أفران الصهر، وخاصة في الصناعات التعدينية، وفي صناعة المواد العازلة
528	Refrigerant	المبردات: مواد كيمائية تستخدم لإحداث التبريد عبر تحولها من طور إلى طور
529	Refuse Piles	أكوام النفايات
530	Regulated Limit	الحدود المقرّة والمحددة بالتشريعات والقوانين
531	Regulation	قواعد، تشريعات، نواظم، قوانين
532	Regulatory	تنظيمي
533	Rehabilitate	إعادة تأهيل: إعادة منشأة أو ما شابهها إلى أدائها السابق
534	Rejected Water	مياه منبوذة غير قابلة للاستهلاك
535	Release	إطلاق، تحرير
536	Relief Valve	صمام تخفيف

537	Reproduction	تكاثر، توالد: عمليات تقوم عبرها العضويات بتكـرار ذاتها ضماناً لاستمرارها وديموميتها
538	Reservoir	حوض، حامل مائي مكون من طبقة تتصف بمسامية ونفوذية تمكنها من خزن الماء
539	Residence Time	زمن المكوث: الزمن الذي يبقى فيه مياه الصرف أو الحمأة أو أي محلول في قسم محدد من وحدات المعالجة
540	Resilient	مرن، مطاطي: صفة العودة إلى الوضع الأولي لمادة بعد ثنيها أو مطها أو ضغطها
541	Restrained Joint	وصلة مقيدة الحركة
542	Retention Time	زمن الاحتجاز: الزمن الذي يبقى فيه مياه الصرف أو الحمأة أو أي محلول في قسم محدد من وحدات المعالجة
543	Revenue Bonds	سندات العوائد: سندات تصدرها البلديات أو الحكومات أو مؤسسات أهلية مفوضة بإحداث مرافق خدمات كمنشآت المياه والصرف
544	Reverse Osmosis RO	التناضح العكسي: تقانة كفؤة طاقياً تعمل تحت ضغط عال يتم بموجبه انتقال الأيونات من محلول ذي تركيز منخفض إلى محلول ذي تركيز عالٍ عبر غشاء نفوذ يفصلهما، ويستخدم على نطاق واسع في عمليات تحلية المياه
545	Reynolds Number Re	عدد رينولدز: عدد بلا واحدة يستخدم في ديناميك السوائل للتعبير عن القوى الداخلية، يستخدم لتوصيف أنماط الانسياب ، ففي الانسياب الرقائقي تكون قيمته منخفضة أما في الانسياب المضطرب مع وجود دوامات فتكون قيمته مرتفعة
546	Ridge-And-Furrow method	المتون والأخاديد
547	Rinse	يشطف يغسل
548	Rollers	مدحلة: أداة ثقيلة تحدث بحركتها رص حبيبات التربة

		أو حصى الطرقات قبل تعبيدها
549	Rotating Table	منصة دوارة
550	Rotavirus	روتافيروس: فيروس معوي يصاب به الرضّع متسبباً بإسهال حاد.
551	Rotifer	دولابي: حيوان مجهري طافي ذو تجويف كاذب، يتراوح طوله مابين 0.1 إلى 0.5 مم ينتشر في المياه العذبة. وكأحد المكونات الهامة لعوالق (البلانكتون) المياه العذبة، يمثل مصدراً غذائياً هاماً إضافة إلى مساهمته مع أجناس أخرى في تفكك المادة العضوية الموجودة في التربة
552	Roughness Coefficient	معامل الخشونة: مقاومة قاع قناة لانسياب الماء فيها، تتراوح قيمته من 0.010 لسطح زجاجي إلى 0.020 لقاع قناة لحقية ذات كثبان رملية، ويرمز له بـ n في معادلةماننغ
553	Rubber Ring Gasket	حشوة حلقية مطاطية لإحكام الإطباق أو العزل
554	Run	سلسلة اختبارات
555	Runoff	جريان سطحي، صرف
556	Runtime	فترة تشغيل، مدة المسار
557	Rye	جاودار: أحد أنواع الحبوب انتشر من أمريكا الجنوبية إلى أوربا وآسيا وأمريكا الشمالية يستخدم لإعداد خبز خاص ومشربات مختلفة، وكذلك علفاً للماشية
558	Safe Drinking Water Act SDWA	تشريع مياه الشرب الآمنة
559	Saline	ماء مالح يحوي بشكل أساسي على صوديوم كلوريد وأملاح المغنزيوم
560	Sampling	اعتيان: أخذ كمية صغيرة ممثلة للمادة التي أخذت منها بهدف تحليلها ودراستها وتعميم النتائج على المادة ككل
561	Sanitation Districts Of Los Angeles County	الدوائر الصحية في مقاطعة لوس أنجلوس
562	Saturation zone	نطاق الإشباع: النطاق العلوي من تربة تكون فيه كافة المسام مملوءة بالماء نتيجة الري أو المطر

563	Scale-Forming Water	مياه مرسبة للقشور: مياه حاوية على أملاح كالسيوم ومغنزيوم مذابة يؤدي ترسبها إلى تشكل قشور عند وصلات الأنابيب أو الصنابير
564	Scavenger	باحث عن فضلات الطعام أو المغذيات ليقتات ويعيش عليها، وكيميائياً هي مادة تتفاعل وتزيل جزيئات أو جذور محددة
565	Scouring Velocity	سرعة فرك تنظيف أو صقل
566	Scrape	كشط، قشر، خدش، فرك
567	Screen	غربال
568	Screw Cap	غطاء حلزوني
569	Screw Press	ضاغط لولبي
570	Screw Pump	مضخة لولبية
571	Scroll	حلزوني
572	Scrubber	جهاز غسل الغاز: جهاز يستخدم الماء أو محاليل أخرى لتنقية الغازات والأبخرة
573	Scum	زبد: طبقة من الزبد والأوساخ تطفو على سطح سائل أو محلول
574	Seawater Intrusion	اقتحام مياه البحر: دخول مياه البحر المالحة إلى حامل مائي على تماس معها
575	Seeded	مستزرع: بنية توالدية في النبات تحوي جنيناً، يتم إمدادها غالباً بالمغذيات
576	Seepage	تسرب أو ارتشاح سائل من طبقة صخرية أو تربة زراعية أو من حوض
577	Self-Priming Pumps	مضخات ذاتية الإقلاع
578	Self-Propelled Transport	ناقل ذاتي الدفع
579	Semi permeable	نصف نفوذة: مادة أو غشاء يسمح بمرور سوائل أو غازات محددة عبره
580	Sensor	مستشعر: أداة تكشف أو تقيس خاصة فيزيائية محددة
581	Sept	صرف صحي

582	Septic Tank	خزان الصرف: خزان يكون عادة تحت الأرض يسمح لمياه المجارير بالتحلل ضمنه عبر النشاط البكتيري قبل صرفه للتخلص منه
583	Septic Tank Drainage Field	حقل صرف الحفر الصحية: الموقع الذي يتجمع فيه مياه الصرف القادمة من عدد من الحفر الصحية
584	Septum	غشاء حاجز: غشاء يفصل مابين حجيرتين، ومثاله تشريحياً الغشاء الفاصل ما بين حجيرات القلب
585	Serological	مصلي: الدراسة العلمية أو الفحص التشخيصي لمصل الدم
586	Settling	ترسيب: انفصال المواد الصلبة أو المذابة إلى الأسفل لدى توفر شروط مناسبة
587	Sewer Ordinance	قانون الصرف
588	Sewers	مجارير: أقنية تحت الأرض لنقل مياه الصرف والنفايات
589	Shaft	عمود المحرك، اسطوانة العمود في آلة أو مركبة
590	Sheath	غمد، كيس: بنية في الأنسجة الحية تحيط عن كثب ببنية أخرى
591	Shell	قوقعة: الجزء الصلب لحيوان رخوي يؤمن له الدفاع عن نفس، هيكل، مبنى غير منجز
592	Shock Loads	حمولات صدمة: كمية كبيرة من مادة تدخل إلى وحدة في منشأة لمعالجتها تتسبب بتوقف سير العملية لفرط الكمية
593	Short-Circuiting	انقطاع الانسياب: تقطع انسياب محلول لزج أو عالي اللزوجة أثناء انتقاله مشكلاً كتلاً منفصلة
594	Shredder	التلافة: آلة تقوم بتقطيع مادة إلى قطع صغيرة ، وأوسع استخداماتها في إتلاف الوثائق الورقية
595	Shutoff head	علو الإيقاف: العلو أو الارتفاع الذي يتوقف سير عملية محددة عند الوصول إليه
596	Sight well	حفرة الإطلاع: حفرة يتم من خلالها مراقبة سير

		العملية في إحدى وحدات منشأة أو محطة معالجة
597	Sill cock	صنبور كروي: صنبور تكـون فيـه وسـيلة إيقـاف وانسياب السائل، كرة اقتطع جانب أو جزء منها
598	Single-acing sequence valve	صمام تسلسلي أحادي الفاعلية
599	Siphon	سيفنة: نقل سائل في أنبوب نحو الأعلى مـن خـزان بواسطة المص أو الغمر، والمحافظة على انسيابه إلى منسوب أخفض نتيجة الضغوط المختلفة لدى نهايـات الأنبوب
600	Skid	زلاجة، زلاقة: لوح خشبي يوضع بشكل مائل ليتم نقل معدات ثقيلة عليه
601	Skim	إزالة الرغوة أو الزبد، انزلاق فوق السطح أو قربـه بسرعة
602	Slag	خبث: ناتج جانبي لعمليات التعدين والصهر والحـرق نتيجة وجود شوائب
603	Slaker Slake	مطفئ الجير، التسبب بالتسخين والتفتيـت بالمعالجـة بالمياه
604	Sleeves	أكمام: قطع تركب عند وصلات الأنابيب لحمايتها
605	Slime	وحل طين غروي زلق
606	Slope	ميل أو انحدار: الزاوية التي يصنعها سطح مـا مـع مستوي أفقي وهمي
607	Sloughed	حمأة وحل منبوذ، قناة جانبية موحلة
608	Sludge Bulking	تضخم الحمأة، الترحيل الزائد للكدرة مـا ينـتج منـه تشغيل غير كفؤ
609	Slurry	روبة ملاط، وحل رقيق القوام
610	Soil Moisture	رطوبة التربة: المحتوي المائي الموجود فـي مـسام التربة وهو يتباين يومياً وشهرياً
611	Solenoid	صمام لف لولبى
612	Solid Bowl	تجويف مصمت ضمن آلة
613	Solvent	مذيبات: مادة كيميائية سائلة عموماً تذوب فيها مـادة

		أخرى لتشكل محلولاً
614	Somatic	جسدي
616	Spalling	تشظي إلى قطع متفاوتة الأحجام
617	Spargers	مرذذات مرطبة للهواء
618	Specific Retention	احتجاز نوعي يتعلق بطبيعة المادة المحتجزة
619	Specific Substrate	سطح الاستنبات النوعي
620	Spectrophotometer	مقياس الطيف الضوئي: جهاز يقيس كثافة الضوء في جزء محدد من الطيف وبخاصة الضوء المرسل أو المنبثق من مادة ما
621	Spillage	انسكابات
622	Spiral Wound Module	وحدة الملفاف المغزلي
623	Split-Coupling	أداة ربط منفصلة: تربط بين قطعتين أو أنبوبين وتبقى منفصلة عنهما بمسافة محددة
624	Splitter Box	صندوق توزيع، جزء من آلة يدخل فيه سائل أو محلول حيث يوزع إلى عدد من الانسيابات الفرعية
625	Sporozoite	أحياء بوغية: طور من حلقة حياة السبوروزايت مشابهة للأبواغ
626	Spreader	أداة لنشر مادة ما كالسماد مثلاً
627	Spring-Loaded Check Valve	صمام قطع محمل على نابض
628	Sprocket	سنّ عجلة أو ترس مُسنّن في آلة
629	Stabilization Stabilizing	ثبات، استقرار، موازنة
630	Stacking	تكديس مواد
631	Stage	عنصر من أداة ميكانيكية معقدة، طور
632	Staggering	أداء متقطع، مستمر في العمل على نحو غير مؤكد
633	Staining	تلوين مادة بصبغة لتمييزها وتسهيل كشفها
634	Stainless Steel Closure Slip On	غطاء من الفولاذ غير القابل للصدأ ينزلق على فوهة الأنبوب
635	Stand Pipes	أنابيب قائمة أو شاقولية
636	Standard Coliform Counts	إحصائيات قولونيات عيارية

637	Standards Of Water Works	معايير منشآت مائية
638	State Of California Regional Water Quality Control Board (RWQCB)	مجلس التحكم بنوعية المياه الإقليمية لولاية كاليفورنيا
639	State Regulatory Agency	الوكالة التشريعية للولاية
640	Static Level	مستوي سكوني
671	Static-Renewal Tests	اختبارات سكونية-تجددية: اختبارات لتحديد توقف نشاط عملية ما وتجدد نشاطها مرة أخرى
642	Stationary Phase	طور مستقر
643	Stator	الجزء الثابت من محرك نفاث
644	Stator Baffles	مصدات ساكنة: أداة ثابتة تستخدم لكبح انسياب سائل أو غاز أو مواد فتاتية وتوجيهه وجهة محددة
645	Statute	قانون أساسي، نظام أساسي
646	Stickleback	سمك أبو شوكة: سمك نحيل بلا حراشف يتميز بوجود أشواك على ظهره، يعيش في المياه العذبة والمالحة المعتدلة في نصف الكرة الشمالي
647	Stilling Well	بئر ساكنة هادئة
648	Stock And Sod Farms	مزرعة تربية ورعي الماشية
649	Stoichiometry	علم قياس الاتحاد العنصري: حساب عدد أو وزن الجزيئات التي تتفاعل وفقها العناصر أو المركبات مع بعضها البعض
650	Stop Gate	بوابة توقف
651	Storm Runoff	جريان سطحي لمياه العواصف
652	Strainer	مصفاة، غربال
653	Strands	جدائل
654	Stringy	خيطيّ، . ليفيّ، لَزِج
655	Stripping	نزع مادة من تجمع مواد، فك آلة
656	Strom Drain	صرف مياه العواصف
657	Surface Water Treatment Rule	قانون معالجة المياه السطحية
658	Surfactant	مواد مؤثرة في السطوح

659	Surging	جيشان، ازدياد، انتفاخ
660	Surveillance	إشراف، مراقبة، رصد
661	Susceptibility	تأثرية، حساسية
662	Suspended Propeller	مروحة دافعة معلقة
663	Sycamore	جميز، الدلب الغربي: شجرة منتشرة في كافة القارات تتميز بصلابة أخشابها، صنع منها الفراعنة توابيت مومياءاتهم
664	Symbiotic Cycle	حلقة تكافلية: حلقة يتعايش فيها عدد من الكائنات يسدي فيها كل منها خدمة للآخر
665	Synthetic Organic Compounds (SOCS)	المواد الكيميائية العضوية الصناعية
666	Tank	صهريج، خزان
667	Tapping	تثقيب بتسنين لولبي لتثبيت وصل الأنابيب مع بعضها
668	Tees	وصلات أنابيب لها شكل حرف T
669	Teratgenic	تشوهي
670	Tetanus Toxoid Injections.	حقن تيتانوس توكسايد
671	Texture	نسيج: ترتيب المكونات بالنسبة لبعضها بعضاً
672	Threading Tool	أداة فتح السن في طرف أنبوب لوصله بأنبوب آخر
673	Three Way Valve	صمام ثلاثي الوضعيات أو المسارات
674	Threshold	عتبة، درجة : حد لقيمة فيزيائية أو رياضية أو ما شابه محدد مسبقاً لا يسمح بتجاوزه
675	Throttling Valve	صمام خانق
675	Thrust	ضاغطة
676	Tilling	حرث التربة : قلب وخلخلة التربة عبر حفر أخاديد فيها بالحراثة
677	Time Delay	زمن تأخر: زمن مستغرق ما بين بدء حدث أو ظاهرة ما وملاحظتهما أو ملاحظة آثارهما
678	Time Zero	زمن الصفر: زمن محدد لبدة عملية، بدء زمن حدوث ظاهرة ما
679	Titration	المعايرة: تقدير الحجم المضاف من مادة كيميائية

		تضاف إلى مادة تتفاعل معها حتى انتهاء التفاعل
680	Tongue-And-Groove	اللِّسانِ والأُخْدُود، نتوء بارز على قطعة أو مكون في آلة وأخدود موجود في قطعة أخرى لتأمين وصلهما ببعضهما البعض بشكل صحيح ومحكم
681	Torque	عزم التدوير: ميل قوة مطبقة على جسم وجعله بالتالي يدور، ويتم تحديده دوماً بالنسبة إلى محور الدوران
682	Total Coliforn Rule	قانون القولونيات الكلية
683	Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	نتروجين كيلدال الكلي: كمية النتروجين المحسوبة وفق طريقة العالم كيلدال والتي تقوم على غلي العينة بحمض السولفوريك لتفكيك المادة العضوية وأكسدتها بهدف تحرير الأمونيوم ثم إمساك الأمونيا عبر تحويل الأمونيوم إلى أمونيا، وتنتهي بحساب كمية النتروجين الكلي بواسطة معايرة تراجعية باستخدام حمض البوريك وصوديوم كربونات
684	Total Maximum Daily Load (TMDL)	الحمولة اليومية القصوى الكلية
685	Totalizer	آلة تجميع
686	Transducer	محول الطاقة: آداة تقوم بتحويل الطاقة من شكل إلى آخر
687	Trash Rack Rake	منصب مشطي للنفايات، أداة معدنية مرتفعة كمنصب ترمي النفايات عليها لفرزها
688	Travel Time	زمن المرور: الزمن المستغرق لمادة لتنتقل من نقطة إلى أخرى ضمن نظام
689	Travelling Rake	منصب متحرك قابل للنقل من مكان إلى آخر
690	Travelling Screens	غربال متحرك قابل للنقل من مكان إلى آخر
691	Treatment Technology (TT)	تقنية معالجة التقنية المتبعة لإنجاز عملية المعالجة
692	Trespassing	انتهاك، تجاوز: انتهاك حرمة ملكية أو تجاوز حدود وقيم معينة موضوعة من قبل السلطات المعنية
693	Trickling Filtration	رشح تقطري: مرور سائل أو محلول ضمن وسط المرشح ببطء وخروجه منه على شكل قطرات

694	Trim	تخفيض مقدار جرعة مادة تضاف إلى عملية أو تفاعل
695	Trophozite	مجترات في الطور الأولي من التكاثر اللاجنسي
696	Trunk Sewer	مجرور اتصال تبادلي
697	Tuberculation	تدرن: تشكل درنات على السطوح الداخلية للأنابيب تعطيها تضاريساً محدبة
698	Turbidity	عكورة: تكدر الماء بسبب وجود مواد فتاتية ناعمة تتراوح أبعادها حول 0.002 مم
699	Turbine Pumps	مضخات نفاثة
700	Turnover Time	زمن معدل الدوران أو إجمالي الدوران
701	Ultrafiltration (UF)	ترشيح فوق ميكروي: عملية ترشيح انتقائية تحت ضغوط عالية تصل لـ (10) بار باستخدام مرشحات ذات فتحات صغيرة جداً
702	Ultrasonic	فوق صوتية
703	Under drain	الارتشاح السفلي: ارتشاح الماء وتجمعه في حوض موجود تحت المرشح
704	Underfed	شخص مصاب بنقص تغذية
705	Unidirectional	وحيد الاتجاه: انسياب أو شعاعي يتحرك في وسط وفق اتجاه واحد وحيد
706	Upgrading	تحسين أداء آلة أو استطاعتها
707	Upstream	أعالي النهر، باتجاه منبع النهر
708	Uptake	امتصاص مغذيات أو مواد أخرى
709	US Weather Bureau	مكتب الطقس الأمريكي
710	Utility	منشأة نفع عام من قبيل منشآت المياه والصرف الصحي
711	Vacuum	خلاء: مكان لا وجود فيه لأية مادة، أو المكان الذي يكون فيه الضغط ضعيفاً بحيث لا تستطيع الجزيئات الموجودة التأثير في العمليات الجارية فيه.
712	Valve Altitude	ارتفاع الصمام عن سطح الأرض
713	Valve Blow Off	صمام تشغيل

714	Valve Controlled Check	صمام قاطع
715	Valve Diaphragm	حاجزي غشائي
716	Valve Gate	صمام بوابة
717	Valve Globe	صمام كروي
718	Valve Pilot	صمام موجه
719	Valve Rotary	صمام دوراني
720	Valve Shutoff	صمام توقف
721	Valve Sleeve	صمام أنبوبي ذو كم
722	Valve Sphere	صمام نجمي
723	Valve Stop	صمام توقف
724	Valve Surge Relief	صمام تخفيف الجيشان
725	Valve Swing	صمام هزاز
726	Valve Vertical Lift Disk	صمام قرص رفع شاقولي
727	Valving	فتح وإغلاق الصمامات
728	Vaporization	تبخير: تحويل المادة من طور سائل أو طور صلب إلى طور غازي أو بخاري عبر الغليان
729	Vectors	حشرة ناقلة لفيروس أو بكتيريا مسببة العدوى بالمرض
730	Vee Screen	غربال V غربال مصنوع من أسلاك لها شكل حرف V
731	Velocity Loss Coefficient	معامل فقد السرعة
732	Vent Fittings	تركيبات على فتحات التصريف والتنفيس
733	Vertical Turbine Pumps	مضخات النفث الشاقولي
734	Viability	قابلية الحياة والنمو، قابلية التطبيق
735	Visualizing	إظهار النتائج،
736	Vitrified Clay	فخار صلصال مزجج
737	Volatile Fatty Acid (VFA)	حمض دسم طيار: حمض دهني يحوي سلسلة من 6 ذرات كربون أو أقل
738	Volatility	قابلية التطاير
739	Volatilization	تطاير

740	Volute	حلزوني
741	Vortex	دوامة
742	Vulnerability	تأثرية: القابلية للتأثر بمؤثر فيزيائي خارجي
743	Water hammer	مطرقة مائية: جيشان الضغط نتيجة إجبار الانسياب على التوقف أو تغيير اتجاهه فجأة بسبب إغلاق صمام في نهاية الأنبوب بشكٍ مفاجئ، الأمر الذي يؤدي إلى انتشار موجة ضغط في الأنبوب
744	Water head	علو الماء: الضغط المتولد عن وجود جسم مائي على ارتفاع معين
745	Water Pollution Control Act	تشريع مراقبة تلوث المياه
746	Water- Supply Management	إدارة التجهيز بالماء
747	Water tight	عازل للمياه
748	Water Utility	منشأة مائية: منشأة عامة تقوم بتأمين إيصال المياه النظيفة إلى مختلف المناطق والفعاليات
749	Waterborne	منقول بالماء
750	Water-Demand Management	إدارة الاحتياج للمياه
751	Watershed	حد فصل مائي تنساب عنده المياه باتجاهات مختلفة لتتجمع في مناطق مناسبة
752	Watertable	مستوى الماء، منسوب الماء، سطح الماء
753	Waterworks	منشأة مائية: منشأة عامة تقوم بتأمين إيصال المياه النظيفة إلى مختلف المناطق والفعاليات
754	Weed	عشبة ضارة تنافس المحاصيل الزراعية على الماء والمغذيات والضوء، أما في المناطق الرعوية فهي إما أعشاب سامة أو أعشاب تعافها الماشية
755	Weir	سد في وحدة من وحدات محطة المعالجة يقوم بصد انسياب محلول أو حمأة وتوجيههما وجهة مختارة
756	Well Pumps	مضخات بئرية: توضع في البئر لسحب المياه إلى الأعلى
757	Wet-Weather Design Flow	انسياب تصميم المناخ الرطب

758	Wheelbarrows	عجلة اليد: عربة يد ذات دولاب واحد أو أكثر
759	Whole Effluent Toxicity (Wet)	سمية الصبيب الكلية
760	Willow	صفصاف
761	Wire Attachment	ملحق سدي
762	Wire Fabric	هيكل سلكي
763	Wire Inoculating Loop	أنشوطة تطعيم سلكية
764	Workmanship	جودة العمل براعة مهارة
765	Wound	ملفاف
766	Wrap	يطوّق، يغطّي، يلفّ
767	Yield Stress	جهد ناتج
768	Zero Kinetics	حركية الترتيب صفر: الحالة التي يكون فيها معدل تفاعل الأنزيم مستقلاً عن تركيزه في الطبقة التي تدنوه
769	Zirconium Dye Lake	قرمزي صبغة الزركونيوم

ثبت مصطلحات (عربي – إنجليزي)

Specific Retention	احتجاز نوعي يتعلق بطبيعة المادة المحتجزة	1
Chemical Oxygen Demand (COD)	احتياج الأكسجين الكيميائي	2
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	احتياج بيوكيميائي للأوكسجين (اكحك)	3
Jar Test	اختبار الارتجاج: طريقة مخبرية لتقدير الظروف المثالية لمعالجة المياه ومياه الصرف، يتم عبرها التحكم بـ pH وجرعة البوليميرات وسرعات المزج	5
Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior Backfill.	اختبار الضغط السلبي للهواء قبل الردم	6
Modified Proctor Test	اختبار المراقب المعدل: اختبار يستخدم في الهندسة الجيوتقنية لتقدير الكثافة الأعظمية للتربة أو لتجمع حبيبات، يمكن بلوغها عملياً بدرجات رطوبة مختلفة. حيث ترص التربة في قالب معياري بتأثير طاقة تراص محددة وسويات رطبة مختلفة، يتم من خلال نتائج الاختبار تقدير الكثافة الجافة الأعظمية والمحتوى الرطوبي الأمثل	7
Immunofluorescence Assay (FA)	اختبار تألق مناعي: اختبار يتم خلاله قياس تألق الجسم المعرض لإشعاع ذي طول موجي محدد، لتقدير مدى المناعة	8
Maximum Geometric Mean Concentration Test	اختبار متوسط التركيز الحجمي الأقصى	9

Static-Renewal Tests	اختبارات سكونية-تجددية: اختبارات لتحديد توقف نشاط عملية ما وتجدد نشاطها مرة أخرى	10
Facultative	اختياري، كائن قادر على القيام بأكثر من دور ما أو نمط حياتي ما دون أن يقتصر على واحد منها	11
Infiltration	ارتشاح، تسرب، تغلغل تدريجي طفيف عبر مسام وسط أو إلى وسط آخر	12
Valve Altitude	ارتفاع الصمام عن سطح الأرض	13
Dawning	استجرار	14
Land Application	استخدام النفايات في الأرض عبر الدفن أو الخلط مع تربة منطقة ما	15
Metal Finishing	استخلاص المعادن: الحصول على المعادن بدرجات نقاء عالية عبر عمليات تعدينية مختلفة	16
Reclamation	استصلاح: تحويل أراضٍ بور إلى أراض مستثمرة زراعياً	17
Culture	استنبات: زرع البكتريا أو الأنسجة الحية للدراسة العلمية	18
Oxygen Depletion	استنزاف الأكسجين	19
Elimination	استئصال فيزيائي أو استئصال كيميائي عبر تشكيل مادة بسيطة ذات جُزَيء كبير خلال سير التفاعل	20
Composite Sampling	اعتيان مركب: جمع عينة من مواقع مختلفة للوصول إلى تمثيل أفضل للمادة المراد تحليلها	21
Sampling	اعتيان: أخذ كمية صغيرة ممثلة للمادة التي أخذت منها بهدف تحليلها ودراستها وتعميم النتائج على المادة ككل	22
Seawater Intrusion	اقتحام مياه البحر: دخول مياه البحر المالحة إلى حامل مائي على تماس معها	23
Diverging	الابتعاد عن الأصل أو التشعب منه	24
Under drain	الارتشاح السفلي: ارتشاح الماء وتجمعه في حوض موجود تحت المرشح	25
Diffusion	الانتشار: عملية انتقال المادة من منطقة التركيز الأعلى	26

	إلى منطقة التركيز الأقل	
Maximum Hourly Flow	الانسياب الساعي الأعظمي	27
Eytosine Thymine	الأيتوسين والثيامين مركبان عضويان يحويان النتروجين والكربون ومجموعة الميثيل يمثل الثيامين أحد المكونات الأربعة لحمض DNA	28
Clam	البطلينوس: محاريات من صفيحيات الغلاصم تتراوح أبعادها من 0.1 مم إلى 1.2 م تعيش ضمن رمال المياه البحرية الضحلة	29
Poly Vinyl Chloride PVC	البولي فينيل كلوريد: بوليمير عضوي مكون من معالجة المونومير فينيل كلوريد بالبيروكسايد	30
Compliance	التزام: امتثال بالقوانين والتشريعات الناظمة وبالمعايير ومستويات التلوث المحددة وعدم تجاوزها	31
O & M	التشغيل والصيانة	32
Shredder	التلافة: آلة تقوم بتقطيع مادة إلى قطع صغيرة ، وأوسع استخداماتها في إتلاف الوثائق الورقية	33
Reverse Osmosis RO	التناضح العكسي: تقانة كفوءة طاقياً تعمل تحت ضغط عال يتم بموجبه انتقال الأيونات من محلول ذي تركيز منخفض إلى محلول ذي تركيز عالٍ عبر غشاء نفوذ يفصلهما، ويستخدم على نطاق واسع في عمليات تحلية المياه	34
Meningitis	التهاب السحايا	35
Myocarditis	التهاب العضلة القلبية	36
Hepatitis	التهاب الكبد: مرض له أنماط وأعراض ومسببات مختلفة وطرق عدوى مختلفة من بينها الغذاء الملوث بالبراز أو بالحقن الملوث	37
Reference Dose RFD	الجرعة المرجعية: الجرعة القصوى المقبولة من مادة سمية تدخل الجسم عبر الفم، وتقدر الجرعة عادة باستعمال المبيدات الحشرية	38
Stator	الجزء الثابت من محرك نفاث	39

Gastrointestinal	الجهاز المعدي المعوي	40
Regulated Limit	الحدود المقرّة والمحددة بالتشريعات والقوانين	41
Hydrolysis	الحلمأة: تفاعل كيميائي مع الماء يتم خلاله تبادل المجموعات الوظيفية إذ يتشكل مركبان أحدهما حاوٍ على H والآخر على OH	42
Total Maximum Daily Load (TMDL)	الحمولة اليومية القصوى الكلية	43
Sanitation Districts Of Los Angeles County	الدوائر الصحية في مقاطعة لوس أنجلوس	44
Elapsed Time	الزمن المستغرق لأداء عملية ما	45
Carcinogenicity	السَّرْطَنَة: القدرة أو الميل للتسبب بالسرطان والمتمثلة بعدم قدرة الخلايا التالفة في جسم المريض على الموت المبرمج، بحيث يغدو نموها خارج السيطرة بالترافق مع تغير عمليات الأيض فيها	46
Filter Beds	السويات القاعدية الحصوية للمرشح ترتب وفقاً لأحجامها	47
Epilimnion	الطبقة السطحية العلوية الدافئة لبحيرة متطبقة	48
Hypolimnion	الطبقة العميقة الباردة لبحيرة متطبقة وتكون داكنة وراكدة	49
Bedding	الطبقة القاعدية التي تتخذ أساساً	50
Fecal Oral Route	الطريق البرازي الفموي: مسار انتقال الممرضات المختلفة من البراز وصولاً إلى الفم فالجاز الهضمي	51
Interest And Stipulated Reserves	الفوائد والاحتياطيات المالية المشروطة بقيود محددة	52
Combustibility	القابلية للاحتراق: مقياس لسهولة احتراق مادة بالنار في مكان مفتوح أو في فرن الحرق	53
Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule	القانون المؤقت للمعالجة المحسنة للمياه السطحية	54
Biota	الكائنات الحية (نباتات وحيوانات حقبة ما)	55
Prechlorination	الكلورة المسبقة	56
Tongue-And-Groove	اللِّسانِ والأُخْدُود، نتوء بارز على قطعة أو مكون في آلة وأخدود موجود في قطعة أخرى لتأمين وصلهما	57

	ببعضهما بعضاً بشكل صحيح ومحكم	
58	المبردات: مواد كيميائية تستخدم لإحداث التبريد عبر تحولها من طور إلى طور	Refrigerant
59	المتون والأخاديد	Ridge-And-Furrow method
60	المردود النوعي	Effective Yield
61	المستوي المكافئ لمياه الشرب	Drinking Water Equivalent Level (DWEL)
62	المضخات الترددية	Reciprocating Pumps
63	المضخات التموجية المتعاقبة	Pumps Peristaltic
64	المضخات النافورية الغازية	Pumps Pneumatic Ejector
65	المعابر الفرعية	Driveways
66	المعايرة: تقدير الحجم المضاف من مادة كيميائية تضاف إلى مادة تتفاعل معها حتى انتهاء التفاعل	Titration
67	المفترس والضحية: مصطلح لكائنات تتغذى على كائنات أخرى	Predator Prey
68	المواد الكيميائية العضوية الصناعية	Synthetic Organic Compounds (SOCS)
69	الميل إلى الغير	Homophobic
70	النظام الوطني للتخلص من طرح الملوثات	National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)
71	الوكالة التشريعية للولاية	State Regulatory Agency
72	اليوم الأقصى	Maximum Day
73	امتزاز: يعتمد الامتزاز الفيزيائي على قوى فان درفالس للتجاذب بين الجزيئات، أما الامتزاز الكيميائي فهو إمساك الغاز على سطح مادة ما بقوة كيميائية يختلف قدرها باختلاف المادة	Adsorption
74	امتصاص مغذيات أو مواد أخرى	Uptake
75	امتصاص، قدرة المادة على امتصاص الطاقة بمختلف أشكالها الإشعاعية المرئية أو غير المرئية	Absorption Absorbance
76	انبثاق: إجبار محلول على المرور عبر سلسلة من الوحدات لإكسابه خصائصاً معينة أو للتخلص من	Extrusion

	مكونات محددة متضمنة فيه	
Plumbing Stack	انبوب تنفيس في شبكة الأنابيب	78
Trespassing	انتهاك، تجاوز: انتهاك حرمة ملكية أو تجاوز حدود وقيم معينة موضوعة من قبل السلطات المعنية	79
Deflection	انحراف في مسار عملية، انحراف في مسار الأشعة	80
Clogging	انسداد: توقف الانسياب في الأنابيب أو انسداد فتحات المرشحات نتيجة تجمع وتراكم الشوائب أو الفضلات	81
Spillage	انسكابات	82
Inflow	انسياب إلى الداخل: الحركة أو الإنسياب إلى داخل وسط آخر	83
Wet-Weather Design Flow	انسياب تصميم المناخ الرطب	84
Plug Flow	انسياب ساد	85
Needed Fire Flow (NFF)	انسياب ماء الحريق الضروري	86
Fire Flow	انسياب ماء الحريق: كميات المياه المختزنة لاحتياجات الحرائق والطوارئ	87
Binary Division	انقسام مزدوج تتقسم فيه الخلية الحية إلى خليتين	88
Short-Circuiting	انقطاع الانسياب: تقطع انسياب محلول لزج أو عالي اللزوجة أثناء انتقاله مشكلاً كتلاً منفصلة	89
Corrosivity	ائتكالية: قابلية مادة على التفاعل مع الأحماض أو الأسس وتشكيلها مركبات ذوابة تاركة فجوات	90
Enforcement	إنفاذ وفرض قانون أو تشريع إما بحكم الضرورة أو بالقوة	91
Decantation	إبانة: سكب السائل الطافي من فوق الراسب	92
Standard Coliform Counts	إحصائيات قولونيات عيارية	93
Water-Demand Management	إدارة الاحتياج للمياه	94
Occupational Safety And Health Administration (OSHA)	إدارة الأمان والصحة المهنية	95
Water- Supply Management	إدارة التجهيز بالماء	96
Demineralization	إزالة التمعدنات والأملاح	97
Deodorizing	إزالة الرائحة الكريهة	98

Skim	إزالة الرغوة أو الزبد، انزلاق فوق الـسطح أو قربـه بسرعة	99
Surveillance	إشراف، مراقبة، رصد	100
Release	إطلاق، تحرير	101
Visualizing	إظهار النتائج،	101
Rehabilitate	إعادة تأهيل: إعادة منشأة أو ما شـابهها إلـى أدائهـا السابق	102
Recycling	إعادة تدوير: إعادة تصنيع أشياء مستخدمة ومنبوذة بعد استردادها انتقائياً	103
Inhibiting	إعاقة، تثبيط عملية أو فعل	104
Augmentation	إكثار، تزايد	105
Casing	إكساء: طبقة تترسب على جدار بئر وتغلفـه وتكـون غالباً من البنتونيت المكون الرئيسي لسائل الحفر	106
Capture	إمساك: أسر مادة مـا لأيـون عنـصر بـالامتزاز أو بالامتصاص مثلاً	107
Eutrophication	أترفة: اخضرار مياه البحيرات بـسبب نمـو مفـرط للنباتات نتيجة وفرة المغذيات، والتي تسبب تحللها بقتل الحيوانات المائية لعدم وجود الأكسجين	109
Natant	أجسام خفيفة طافية على سطح سائل	110
Antibodies	أجسام مضادة: جزيئات تتشكل كاستجابة لدخول جـسم غريب إلى الجسم تدور في الدم والغدد الليمفاوية	111
Sporozoite	أحياء بوغية: طور من حلقة حياة السبوروزايت مشابهة للأبواغ	112
Staggering	أداء متقطع، مستمر في العمل على نحو غير مؤكد	113
Split-Coupling	أداة ربط منفصلة: تربط بين قطعتين أو أنبوبين وتبقى منفصلة عنهما بمسافة محددة	114
Compactor	أداة رص ودمج	115
Threading Tool	أداة فتح السن في طرف أنبوب لوصله بأنبوب آخر	116
Spreader	أداة لنشر مادة ما كالسماد مثلاً	117

Aerator	أدوات كهربائية تقوم بالإمداد بفقاعات الهــواء لتــأمين أكسدة المادة العضوية وتحللها هوائياً	118
Downstream	أسفل مجرى النهر، في اتجاه مجرى النهر	119
Exponentially	أسي: تكاثر متسارع وفق أس رياضي	120
Dyes	أصبغة: مركبات عضوية كثيفة تستخدم لإضفاء ألــوان على مواد مختلفة	121
Preparation Utensils	أطباق تحضير	122
Upstream	أعالي النهر، باتجاه منبع النهر	123
Maximum Average Month	أقصى متوسط شهري	124
Oxygenation	أكسجة: إغناء بالأكسجين	125
High-Purity Oxygen	أكسجين عالي النقاء	126
Sleeves	أكمام: قطع تركب عند وصلات الأنابيب لحمايتها	127
Refuse Piles	أكوام النفايات	128
Matrix	أمية: مكونات مادة ما منتظمة ومرتبط بعضها بالبعض مشكلة هيكل المادة	129
Arterial Main	أنابيب رئيسة شريانية: أنابيب مياه رئيسة تؤمن الإمداد بالاحتياجات المائية، أو أنابيب مياه صرف رئيسة	130
Stand Pipes	أنابيب قائمة أو شاقولية	131
Nessler tubes	أنابيب نيسلر: نمط بسيط من مقــاييس اللــون لتحديــد التركيز، حيث يستخدم أنبوبان يوضع في الأول كاشف مع كمية محددة من العينة المراد اختبارها فيتغير لونها وتستخدم كمرجع للمقارنة، يوضع في الأنبوب الثــاني العينة المراد اختبارها وتمزج جيداً وترشح ثم تقــارن كثافة لونها بكثافة لون الأنبوب الأول المرجعي ويحسب التركيز باستخدام معادلات محددة	132
Body- And Non-Body-Contact Recreation	أنشطة استجمامية وترفيهية تتضمن أو لا تتضمن تماساً جسدياً مع الماء	133
Wire Inoculating Loop	أنشوطة تطعيم سلكية	134
Municipal Waste Water System	أنظمة جمع مياه الصرف	135

Anion	أنيون: أيون سالب الشحنة	136
Culture Media	أوساط استنبات	137
Fomite	أوعية معدية: أوعية وأدوات يتسبب استخدامها بنقل العدوى بالمرض	138
Metabolism	أيض: تفاعلات كيميائية تحدث في كافة الخلايا الحية لتأمين الطاقة لعمليات الحياة، وتركيب مواد جديدة	139
Bacteriophage	آكلات الجراثيم والبكتريا	140
Totalizer	آلة تجميع	141
Scavenger	باحث عن فضلات الطعام أو المغذيات ليقتات ويعيش عليها، وكيميائياً هي مادة تتفاعل وتزيل جزيئات أو جذور محددة	142
Full-Scale	بالمقياس الطبيعي	143
Maturation Ponds	برك إنضاج: برك تجمع فيها الحمأة لتتحلل تدريجياً	144
Polishing Pond	برك تصفية المحاليل بتركها فيها لفترة زمنية محددة	145
Management Operation And Maintenance Program (MOM)	برنامج الإدارة والتشغيل والصيانة	146
Jet Nozzle	بزباز نفاث: فتحة ضيقة في نهاية انبوب أو خرطوم تتحكم بقوة نفث سائل أو غاز أو هواء	147
Nozzle	بزباز: فتحة ضيقة في نهاية أنبوب أو خرطوم تتحكم بقوة نفث سائل أو غاز أو هواء	148
Pasteurization	بسترة تعقيم الحليب بدرجة حرارة 63° لمدة 30 دقيقة كافية لقتل العضويات الممرضة	149
Punch Card	بطاقة مثقبة: بطاقات مثقبة وفق ترتيب معين لبرمجة الحواسب القديمة	150
Abdominal	بطنية	151
Aerobe	بكتريا حيهوائية لا تعيش إلا على الأكسجين	152
Mussel	بلح البحر: أحد اصناف المحاريات البحرية منتشره عبر العالم (5- 15 سم)، تنتشر بعض أنواعها في المياه العذبة بالولايات المتحدة وشرق آسيا. تلتصق قواقع بلح البحر بالأجسام أو تتجمع مع بعضها بعضاً، أو تدفن نفسها في الوحل أو الرمل.	153

Drop Structure	بنية تتلقى الصرف الساقط عبر مرشح أو غربال	154
Stop Gate	بوابة توقف	155
Knife Gate	بوابة سكين	156
PolyEthelyne PE	بولي إيثيلين: بولميرات تمثل أوسع صفوف البلاستيك الذي له تطبيقات واسعة جداً ومتزايدة في صناعة طيف واسع من المواد	157
Pili of Hair Cells	بيلي شعر الخلايا : جزء ملحق ببصيلات الشعر يتسبب بجعل الشعر عمودياً على البشرة	158
Stilling Well	بئر ساكنة هادئة	159
Vulnerability	تأثرية: القابلية للتأثر بمؤثر فيزيائي خارجي	160
Susceptibility	تأثرية، حساسية	161
Fluctuation	تأرجح: صعود وهبوط غير منتظم لمادة ما، كماً وتكراراً	162
Vaporization	تبخير: تحويل المادة من طور سائل أو طور صلب إلى طور غازي أو بخاري عبر الغليان	163
Mottling	تبرقش: تلون الأسنان نتيجة التسمم بالفلور إثر استخدام مديد لمياه حاوية على نسب عالية من الفلور	164
Tapping	تثقيب بتسنين لولبي لتثبيت وصل الأنابيب مع بعضها البعض	165
Pumping Test	تجربة ضخ: ضخ الماء من بئر جديدة لمدو 72 ساعة بلا توقف ومراقبة هبوط المنسوب الستاتيكي للماء في البئر	166
Dehydration	تجفيف عبر نزع الماء من مادة، ما يعيق النشاط العضوي المجهري وإنقاص حجمها	167
Pump Bowl	تجويف المضخة	168
Borehole	تجويف حفرة البئر	169
Solid Bowl	تجويف مصمت ضمن آلة	170
Upgrading	تحسين أداء آلة أو استطاعتها	171
Immunize	تحصين ضد العدوى وتكون عادة بالتلقيح	172

Proteolysis	تحلل بروتيني إلى مركبات أبسط	173
Lipolysis	تحلل دهني: تفكك الدهون بالحلمأة	174
Diastase	تحول النشاء إلى سكر عبر نشاط أنزيمات ألفا وبيتا وغاما التي تفكك الكربوهيدرات وتحولها إلى سكر	175
Amylolysis	تحول النشاء إلى سكرت حول كيميائي عضوي معروف	176
Neutralization	تحييد: إلغاء الشحنة السالبة أو الموجبة لأيون ما في محلول بإضافة مادة إليه يتسبب ذوبانها بتحييد الشحنة، أو تحييد حامضية أو قلوية محلول بإضافة مادة مناسبة للتحييد	177
Coagulation	تخثر: انجذاب جزيئات صغيرة الحجم في محلول وتخثرها على شكل كدرات	178
Clear-Well Storage	تخزين المياه المرشحة: جمع وتخزين الماء المرشح في أوعية تحت المرشحات	179
Trim	تخفيض مقدار جرعة مادة تضاف إلى عملية أو تفاعل	180
Bacterial Substrate	سطح تخمر بكتيري: المادة أو السطح الذي تعيش أو تنمو أو تتغذى عليه البكتيريا	181
Energy Gradient	تدرج طاقي: اتجاه شعاع انتشار الحرارة في الحقل الحراري	182
Tuberculation	تدرن: تشكل درنات على السطوح الداخلية للأنابيب تعطيها تضاريس محدبة	183
Effluent	تدفق خارج، صبيب فائض	184
Influent	تدفق داخل: تدفق يندمج بدخوله مع تدفق آخر	185
Environmental Impairment	تدهور بيئي نتيجة الأنشطة الصناعية والتعدينية والبشرية المختلفة المتزايدة	186
Degradation	تراجع في الأداء أو الكفاءة، تفكك المادة إلى مكوناتها، تراجع في النوعية	187
Mounding	تراكمي، متزايد، مرتفع	188
Plain Sedimentation	ترسيب بسيط وواضح	189

Settling	ترسيب: انفصال المواد الصلبة أو المذابة إلى الأسفل لدى توفر شروط مناسبة	190
Activated Biological Filtration (ABF)	ترشيح حيوي منشط	191
Ultrafiltration (UF)	ترشيح فوق ميكروي: عملية ترشيح انتقائية تحت ضغوط عالية تصل لـ (10) بار باستخدام مرشحات ذات فتحات صغيرة جداً	192
Microfiltration MF	ترشيح ميكروي: عملية ترشيح بأغشية ميكروية المسام (0.05 -(10 µm) لإزالة الغرويات والمواد المعلقة ، وفي الترويق التخمير والكتلة الحيوية	193
Nanofiltration	ترشيح نانوي: عملية ترشيح خاصة تختار عندما لا يكون التناضح العكسي أو الترشيح فوق ميكروي الخيار الأمثل، إذ يوفر تطبيقات فصل غير مجدية اقتصادياً مثل إزالة المعادن، إزالة اللون، إزالة الملوحة	194
Installation	تركيب تجهيزات أو تمديدات كهربائية، تنصيب برامج حاسب	195
Vent Fittings	تركيبات على فتحات التصريف والتنفيس	196
Incineration	ترميد: تفكيك المادة بالحرق	197
Clarification Clarifier	ترويق: فصل الشوائب من محلول	198
Data-Logging	تسجيل المعطيات والبيانات	199
Seepage	تسرب أو ارتشاح سائل من طبقة صخرية أو تربة زراعية أو من حوض	200
Fluorosis	تسمم الأسنان بالفلور (تبرقش الأسنان): حالة مرضية مزمنة تتلون فيها الأسنان بالأصفر إلى البرتقالي نتيجة تناول مركبات الفلور لفترة زمنية طويلة	201
Acronym	تسمية مختصرة منحوتة من الأحرف الأولى للكلمات المكونة	202
Fertilization	تسميد الأرض بإضافة الأسمدة الطبيعية أو الصناعية، تخصيب أو تلقيح بشري أو حيواني أو نباتي	203
Overfertilization	تسميد جائر لأرض زراعية يفوق احتياج التربة	204

Interlock	تشابك: مشبك: آلة أو أداة للوصل أو التنسيق ما بين وظائف المكونات	205
Dispersion	تشتت أي مادة أو ظاهرة نتيجة انتشارها	206
Clean Water Act (CWA)	تشريع المياه النظيفة	207
Water Pollution Control Act	تشريع مراقبة تلوث المياه	208
Lead Contamination Control Act	تشريع مراقبة تلوث بالرصاص	209
Safe Drinking Water Act SDWA	تشريع مياه الشرب الآمنة	210
Spalling	تشظي إلى قطع متفاوتة الأحجام	211
Teratgenic	تشوهي	212
Discharge	تصريف، طرح، تدفق، تفريغ	213
Sludge Bulking	تضخم الحمأة، الترحيل الزائد للكدرة ما ينتج منه تشغيل غير كفؤ	214
Volatilization	تطاير	215
Inoculation	تطعيم، تلقيح: إدخال عامل غير فعّال في عضوية، أو إدخال خلايا أو عضويات في وسط استنبات	216
Moratorium	تعليق أو توقيف مؤقت لنشاط منشأة ما	217
Manufacturing Tolerance	تفاوت مسموح به ميكانيكياً أثناء التصنيع	218
Intermittence; Intermittency	تقطع: صفة لعدم استمرارية انسياب سائل أو الإمداد بمواد أو توريد بضائع	219
Constriction	تقلص، انقباض	220
Presence-Absence Technique	تقنية الوجود-الغياب: تقانة تستخدم وجود عضويات بأعداد محددة مؤشراً على وجود تلوث	221
Treatment Technology (TT)	تقنية معالجة التقنية المتبعة لإنجاز عملية المعالجة	222
Reproduction	تكاثر، توالد: عمليات تقوم عبرها العضويات بتكرار ذاتها ضماناً لاستمرارها وديموميتها	223
Balance	تكافؤ، توازن. تعادل، ميزان	224
Agglomerates	تكتّل وتكدس وتجمع حبات متباينة الحجم ودرجة الاستدارة	225
Bulking	تكتل: انجذاب الجزيئات في محلول وتجمعها في كتل	226

Flocculation	تكدر وتكدس وتجمع قليل التماسك لجزيئات وكتل صغيرة إلى بعضها	227
Stacking	تكديس مواد	228
Exposure	تكشف أو تعرض لظروف فيزيائية أو كيميائية أو مناخية قاسية أو لمخاطر أو لضرر	229
Pelletization	تكور: تجمع حبيبات ناعمة مع بعضها بعضاً لتأخذ شكل كريات كثيفة متراصة حجمها بضعة مليمترات	230
Staining	تلوين مادة بصبغة لتمييزها وتسهيل كشفها	231
Extension	تمديد: إضافة فترة زمنية لعملية ما، أو إضافة قطع إضافية لإداة ما لإطالتها أو تكبيرها	232
Regulatory	تنظيمي	233
Purification	تنقية: إزالة الشوائب أو الملوثات	234
Forced-Air Ventilation	تهوية بهواء مدفوع بقوة: تهوية صناعية بتيار هوائي موجه بقوة	235
Frequency	تواتر، تكرار، تردد عدد الأمواج المارة في نفس النقطة خلال واحدة الزمن	236
Dispense	توزيع كمية من مادة ما إلى حصص، على عدد محدد	237
Fitting	توصيلات وتجهيزات تركب على نهايات الأنابيب في المنازل والمكاتب وغيرها للتحكم في الاستخدامات المختلفة للمياه	238
Ammonification	توليد الأمونيا: تركيب الأمونيا من تفاعلات كيميائية تجري ضمن إحدى ضمن إحدى وحدات محطة المعالجة	239
Stabilization Stabilizing	ثبات، استقرار، موازنة	240
Double Acting	ثنائي الفاعلية	241
Dimictic	ثنائية الانقلاب في الربيع والخريف	242
Rye	جاودار: أحد أنواع الحبوب انتشر من أمريكا الجنوبية إلى أوربا وآسيا وأمريكا الشمالية يستخدم لإعداد خبز خاص ومشربات مختلفة، وكذلك علفاً للماشية	243

Desirability	جدارة أو كفاءة: مجمل المحاسن والمزايا التي تتمتع بها مادة أو عملية	244
Strands	جدائل	245
Firewalls And Router Packet	جدران نارية ورزمة المعبر: أسلوب وقائي يطبق منعاً لانتشار ألسنة اللهب ضمن الغابات والمناطق السكنية، أما في عالم الحواسب فهي برامج تمنع تدفق المعلومات من حاسب لآخر	246
Radical	جذور: جزئ مكون من عنـصرين أو أكثـر يمتلـك الكتروناً حراً على الأقل	247
Dragline	جرافة سلكية: آلة ضخمة تنقل ناتج الحفـر بواسـطة حاوية كبيرة تتحرك معلقة بسلك	248
Plow	جرف، جرافة، حرث	249
Storm Runoff	جريان سطحي لمياه العواصف	250
Runoff	جريان سطحي، صرف	251
Somatic	جسدي	252
Oligotrophic	جسم مائي فقير نسبياً بمغذيات النبـات ويكـون غنيـاً بالأكسجين بازدياد العمق	253
Floes	جليد طافٍ على مياه البحر	254
Sycamore	جميز، الدلب الغربي: شجرة منتشرة في كافة القـارات تتميز بصلابة أخشابها، صنع منها الفراعنـة توابيـت مومياءاتهم	255
Drive Chain	جنزير تحريك في آلية ثقيلة	256
Genera	جنس: مرتبة في التصنيف الحيوي تقع تحـت العائلـة وفوق النوع	256
Reduced-Pressure-Principle Device	جهاز أساسي للضغط المنخفض	257
Scrubber	جهاز غسل الغاز: جهاز يـستخدم المـاء أو محاليـل أخرى لتنقية الغازات والأبخرة	258
Yield Stress	جهد ناتج	259
Gaskets	جوانات مطاطية: حلقة أو طبقة من المطاط أو من مادة	260

	أخرى تمنع التسرب ضمن المحــرك أو آلـــة أخـــرى وتأمين إطباق كامل	
Workmanship	جودة العمل، براعة، مهارة	261
Surging	جيشان، ازدياد، انتفاخ	262
Gate	حاجز متمفصل يستخدم لفتح وإغلاق فتحة في جدار	263
Valve Diaphragm	حاجزي غشائي	264
Incubator	حاضنة: جهاز يستخدم لتوفير بيئة واقية ذات شــروط مناسبة من الإمداد بالأكسجين ودرجة الحرارة والضوء	265
Pipette Container	حاملة سحاحات تستخدم على نطاق واسع في المخابر	266
Beads	حبيبات مستديرة متفاوتة الأحجام	267
Quarantine	حجر صِحِّيّ: احتجاز الأشخاص أو الحيوانات المشتبه بإصابتهم بمرض معدٍ حتى التثبت من خلوهم منه	268
Cushion Chamber	حجرة استنادية ذات حشوة تمكن من تخفيف الحركة	269
Measuring Chamber	حجرة قياس: حيز من آلة أو أداه قياس ذات حجم محدد يتم فيها حساب خصيصة محددة	270
Compartment	حجيرة: مقصورة تمثل جزءاً من آلة	
Watershed	حد فصل مائي تنساب عنده المياه باتجاهــات مختلفــة لتتجمع في مناطق مناسبة	271
Gridiron	حديد مشبك: هيكل من قضبان معدنية متوازية يستخدم لأغراض متنوعة من بينها اســتخدامه كغربـــال فـــي محطات المعالجة	272
Tilling	حرث التربة : قلب وخلخلة التربة عبر حفر أخاديد فيها بالحراثة	273
Combustion	حرق	274
Zero Kinetics	حركية الترتيب صفر: الحالة التي يكون فيهـا معــدل تفاعل الأنزيم مستقل عن تركيزه في الطبقة التي تدنوه	275
Belt Conveyor	حزام ناقل: حزام من الكاوتشوك يتحرك بشكل مستمر يستخدم في المناجم والمــصانع ومحطــات المعالجــة وغيرها لينقل مواد مختلفة من مكان إلى مكان	276

Vectors	حشرة ناقلة لفيروس أو بكتيريا مسببة العدوى بالمرض	277
Rubber Ring Gasket	حشوة حلقية مطاطية لإحكام الإطباق أو العزل	278
Packing	حشوة، سدادة	279
Catalyctic	حفاز، مادة تضاف إلى تفاعل كيميائي لتسريعه	280
Pitting	حفر: التسبب بتشكل حفر وفجوات وتـضاريس فـي سطح ما	281
Sight well	حفرة الإطلاع: حفرة يتم من خلالها مراقبة سير العملية في إحدى وحدات منشأة أو محطة معالجة	282
Septic Tank Drainage Field	حقل صرف الحفر الصحية: الموقع الذي يتجمـع فيـه مياه الصرف القادمة من عدد من الحفر الصحية	283
Tetanus Toxoid Injections.	حقن تيتانوس توكسايد	284
Grout	حقن طلاء أو مادة عازلة مالئة لمنع التسرب	285
Volute	حلزوني	286
Scroll	حلزوني	287
Hand wheel	حلقة الصمام اليدوية: عجلة دائرية معدنية لفتح وإغلاق الصمام يدوياً في حال انقطـاع التيـار الكهربـائي أو حدوث عطل	288
Feast- And-Famine Cycle	حلقة الوفرة والندرة	289
Symbiotic Cycle	حلقة تكافلية: حلقة يتعايش فيها عدد من الكائنات يسدي فيها كل منها خدمة للآخر	290
Activated Sludge	حمأة منشطة: عملية تتعامل مع حمأة مجارير أو ميـاه صرف صناعي تمت غربلتها ثم أدخل إليها الهـواء أو الأكسجين مع عضويات	291
Sloughed	حمأة وحل منبوذ، قناة جانبية موحلة	292
Volatile Fatty Acid (VFA)	حمض دسم طيار: حمض دهني يحوي سلسلة مـن 6 ذرات كربون أو أقل	293
Shock Loads	حمولات صدمة: كمية كبيرة من مادة تدخل إلى وحدة في منشآة لمعالجتها تتسبب بتوقف سير العملية لفـرط الكمية	294

BOD Equivalent Population Load	حمولة السكان المكافئة للـ (اكحك)	295
Aquifer	حوامل مائية: طبقة صخرية ينساب الماء ضمن مسامها المتصلة	296
Poplar	حور: شجر ينمو في نصف الكرة الشمالي قصير العمر نسبياً، يستخدم في الصناعات الخشبية وصناعة الورق	297
Fill And Discharge Basin	حوض ملء وتصريف	298
Reservoir	حوض، حامل مائي مكون من طبقة تتصف بمسامية ونفوذية تمكنها من خزن الماء	299
Anaerobiosis	حياة لاهوائية بدون أكسجين	300
Inert	خامد: يفتقر إلى القدرة على الحركة	301
Slag	خبث: ناتج جانبي لعمليات التعدين والصهر والحرق نتيجة وجود شوائب	302
Septic Tank	خزان الصرف: خزان يكون عادة تحت الأرض يسمح لمياه المجارير بالتحلل ضمنه عبر النشاط البكتيري قبل صرفه للتخلص منه	303
Grade Line	خط التدرج: خط مقسم إلى وحدات لبيان مستوى سائل في وعاء على سبيل المثال	304
Force Main	خط رئيس مضغوط: خط من الأنابيب تكون عادة كبيرة الأقطار تضخ فيها مياه الشرب بضغط عال كاف لنقلها إلى مواقع المستهلكين، أو تضخ فيها مياه الصرف بضغط كاف لنقلها من محطة ضخ إلى أخرى وإيصالها بالنهاية إلى محطة المعالجة	305
On-Line	خط مباشر: فوري	306
Crossover	خطوط تحويل	307
Back Beater	خفاقة خلفية تقوم بمزج الحمأة باستمرار	308
Vacuum	خلاء: مكان لا وجود فيه لأية مادة، أو المكان الذي يكون فيه الضغط ضعيفاً بحيث لا تستطيع الجزيئات الموجودة التأثير في العمليات الجارية فيه.	309
Oocyte	خلية بيضية موجودة في المبيض يحتمل انقسامها	310

Stringy	خيطيّ، . ليفيّ، لَزِج	311
Pilot Studies	دراسات تجريبية استطلاعية	312
Degree Of Compaction	درجة تراص المكونات الرئيسية لمادة	313
Elm	دردار: شجرة ظليلة تنمو في الغابات أو تربى كشجرة زينة	314
Landing Brackets	دعامات الاستناد: كتل بارزة لقطعة في آلة ترتكز وتستند عليها قطعة أخرى من مكونات الآلة	315
Brackets	دعامة تستند عليها الآلة لتثبيتها وضمان سلامة أدائها	316
Impeller	دفّاع: الجزء الدوار في مضخة نابذة أو ضاغط أو ما شابهها، مصمم لتحريك سائل أو محلول في آلة، أو لقياس السرعة أو المسافة المقطوعة في المحلول	317
Propelling	دفع إلى الأمام دسر إلى الأمام	318
Batch	دفعة مجموعة من المعطيات أو العينات تقدم دفعة واحدة	319
Guideline	دليل: خط توجيه للإرشاد إلى كيفية تركيب ووصل قطعة مع أخرى ضمن آلة	320
Vortex	دوامة	321
Forced Vortex	دوامية قسرية: صفة لحركة المياه الدورانية بعكس عقارب الساعة عند اندفاعها نحو الأسفل تحت تأثير قوة مفروضة تجبرها على الانسياب للأسفل	322
Rotifer	دولابي: حيوان مجهري طافي ذو تجويف كاذب، يتراوح طوله مابين 0.1 إلى 0.5 مم ينتشر في المياه العذبة. وكأحد المكونات الهامة لعوالق (البلانكتون) المياه العذبة، يمثل مصدراً غذائياً هاماً إضافة إلى مساهمته مع أجناس أخرى في تفكك المادة العضوية الموجودة في التربة	323
Hookworm	ديدان خطافية: ديدان تعيش في الجهاز المعوي	324
Helminthes	ديدان معوية: كديدان الحرقص والدودة الشريطية	325
Dynamic	ديناميكي، فعال، متميز بفاعلية مستمرة، متحرك، مفعم بالحيوية	326

Autotrophic	ذاتية التغذية عضويات تقـوم بتركيـب غـذائها مـن مركبات بسيطة	327
Psychoda	ذباب المرشح، سيكودا	328
Boom	ذراع تطويل: أداة معدنية قابلة للربط مع مقبض أو مع مفتاح آلة للتمكن من إدارته أو فكه بسهولة	329
Flanged	ذو حافة بارزة	330
Appendage	ذيل ملحق بجسم أكبر حجماً أو أكثر أهمية	331
American Water Works Association	رابطة المنشآت المائية الأمريكية	331
Precipitate	راسب متشكل من محلول	332
Filtrate	راشح: الماء الناتج من مروره ضمن مرشح	334
Feeder	رافد إمداد فرعي بمادة ما	335
Lime Slurry	[CaO]، مزيج سائل ثقيل القوام نـاتج مـن إذابـة $Ca(OH)_2$ رائب الجير بالماء	336
Headers	رأسيات: خزانات مرتفعة بحيث تؤمن العلو المطلوب	337
Rammers	رجاجات: معدات متنوعة يتسبب فيها سطح مستوٍ مـن الحديد القاسي يضرب التربة بشكل متكرر، بتماسـكها واندماجها وتصلبها	338
Trickling Filtration	رشح تقطري: مرور سائل أو محلول ضـمن وسـط المرشح ببطء وخروجه منه على شكل قطرات	339
Soil Moisture	رطوبة التربة: المحتوي المائي الموجـود فـي مـسام التربة وهو يتباين يومياً وشهرياً	340
Laminar	رقائقي: انسياب سائل بشكل لطيف في ممرات منتظمة	341
Concentrates	ركازة: الجزء المركز من مادة، أو الجـزء المترسـب بتركيز عال من محلول	342
Code	رمز: مجموعة قوانين، دستور شفرة، نظـام تـشفير، مصطلح	343
Slurry	روبة ملاط، وحل رقيق القوام	344
Rotavirus	روتافيروس: فيروس معوي يصاب به الرضّع متـسبباً بإسهال حاد.	345

Manure	روث، سماد: مواد عضوية تتكون من بـــراز وبـــول الحيوانات الداجنة وتستخدم لتسميد الأرض	346
Scum	زبد: طبقة من الزبد والأوساخ تطفو على سطح ســـائل أو محلول	347
Gooch	زجاج مصهور	348
Skid	زلاجة، زلاقة: لوح خشبي يوضع بشكل مائل ليتم نقل معدات ثقيلة عليه	349
Retention Time	زمن الاحتجاز: الزمن الذي يبقى فيه مياه الـــصرف أو الحمأة أو أي محلول في قـــسم محـــدد مـــن وحـــدات المعالجة	350
Detention Time	زمن الاحتفاظ: الفترة الزمنية التي تبقى فيهـــا المـــادة محتفظة بالماء أو بمحلول أو بأيونات أو ماشابهها	351
Time Zero	زمن الصفر: زمن محدد لبدة عملية، بدء زمن حـــدوث ظاهرة ما	352
Travel Time	زمن المرور: الزمن المستغرق لمادة لتنتقل من نقطـــة إلى أخرى ضمن نظام	353
Residence Time	زمن المكوث: الزمن الذي يبقى فيه مياه الـــصرف أو الحمأة أو أي محلول في قـــسم محـــدد مـــن وحـــدات المعالجة	354
Time Delay	زمن تأخر: زمن مستغرق ما بين بدء حدث أو ظاهرة ما وملاحظتهما أو ملاحظة آثارهما	355
Turnover Time	زمن معدل الدوران أو إجمالي الدوران	356
Dimer	زوج: معقد جزيئي يتكون مـــن جـــزيئين متطـــابقين مرتبطين ببعضهما البعض	357
Sprocket	سِنّ عجلة أو ترس مُسنّن في آلة	358
Graduate Pipette	سحاحة مدرجة أداة تستخدم في المعايرة الحجمية يظهر على جانبها تدريجات تظهر حجم محلول الذي استخدم في المعايرة	359
Overdraft	سحب جائر للمياه الجوفية يفوق ما تسمح به الموازنـــة	360

	المائية	
Double Suction	سحب مزدوج	362
Weir	سد في وحدة من وحدات محطة المعالجة يقـوم بـصد انسياب محلول أو حمأة وتوجيههما وجهة مختارة	363
Scouring Velocity	سرعة فرك تنظيف أو صقل	364
Specific Substrate	سطح الاستنبات النوعي	365
Run	سلسلة اختبارات	366
Compost	سماد مخلّط: كتلة من مادة عضوية ناتجة مـن تحلـل النباتات % تستخدم لتحسين بنية التربة ذات محتـوى 2% نتروجين، 0.5-1% فوسفور و2	367
Stickleback	سمك أبو شوكة: سمك نحيل بلا حراشف يتميز بوجود أشواك على ظهره، يعيش في المياه العذبـة والمالحـة المعتدلة في نصف الكرة الشمالي	368
Beaver	سمور: أحد القوارض المائية يشتهر ببناءه السدود فـي الجداول والبحيرات من الأغصان والأوراق	369
Whole Effluent Toxicity (Wet)	سمية الصبيب الكلية	370
Enactment	سن قانون	371
Revenue Bonds	سندات العوائد: سندات تصدرها البلديات أو الحكومات أو مؤسسات أهلية مفوضة بإحـداث مرافـق خـدمات كمنشآت المياه والصرف	372
Flagellated	سوطية الشكل	373
Siphon	سيفنة: نقل سائل في أنبوب نحو الأعلى مـن خـزان بواسطة المص أو الغمر، والمحافظة على انسيابه إلـى منسوب أخفض نتيجة الضغوط المختلفة لدى نهايـات الأنبوب	374
Underfed	شخص مصاب بنقص تغذية	375
Flushing	شطف: غسل بكميات كبيرة من المياه في فترة زمنيـة قصيرة جداً تكون أحياناً لحظية	376
Paralytic	شلل الأطفال	377

Bedrock	صخر الأديم: الصخر الذي يأتي تحت التربة الزراعية وتشاد عليه الأساسات	378
Bubbler Stone	صخر مولّد للفقاعات ذو بنية ونسيج فراغي ما يمكنه من تقديم الهواء بشكل فقاعات لزيادة انتشار الهواء	389
Sept	صرف صحي	380
Strom Drain	صرف مياه العواصف	381
Baffle Plates	صفائح صد: صفائح معدنية ثابتة أو متحركة يتم توجيهها للتحكم بمعدل الانسياب	382
Willow	صفصاف	383
Plaque	صفيحة خلية مدمرة	384
Valve Sleeve	صمام أنبوبي ذو كم	385
Valve Gate	صمام بوابة	386
Relief Valve	صمام تخفيف	387
Valve Surge Relief	صمام تخفيف الجيشان	388
Single-acing sequence valve	صمام تسلسلي أحادي الفاعلية	389
Valve Blow Off	صمام تشغيل	390
Modulating Valve	صمام تعديل	391
Valve Shutoff	صمام توقف	392
Valve Stop	صمام توقف	393
Three Way Valve	صمام ثلاثي الوضعيات أو المسارات	394
Throttling Valve	صمام خانق	395
Valve Rotary	صمام دوراني	396
Plug Valve	صمام سادّ	397
Float-Operated Valve	صمام عائم	398
Valve Controlled Check	صمام قاطع	399
Valve Vertical Lift Disk	صمام قرص رفع شاقولي	400
Spring-Loaded Check Valve	صمام قطع محمل على نابض	401
Double Check Valve	صمام قطع مزدوج	402
Valve Globe	صمام كروي	403

Solenoid	صمام لف لولبي	404
Valve Pilot	صمام موجه	405
Valve Sphere	صمام نجمي	506
Valve Swing	صمام هزاز	407
Sill cock	صنبور كروي: صنبور تكون فيه وسيلة إيقاف وانسياب السائل، كرة اقتطع جانب أو جزء منها	408
Splitter Box	صندوق توزيع، جزء من آلة يدخل فيه سائل أو محلول حيث يوزع إلى عدد من الانسيابات الفرعية	409
Tank	صهريج، خزان	410
Quanti-Tray	صينية كوانتي: طريقة سهلة وسريعة ودقيقة لإحصاء قولونيات الإيشيريشيا كولي	
Screw Press	ضاغط لولبي	412
Belt Filter Press	ضاغط مرشح الحزام: أداة لنزع الماء من الحمأة	413
Thrust	ضاغطة	414
Peak Pumpage	ضخ الذروة	415
Pumping	ضخ: عملية ضغط أو رفع السوائل من منسوب إلى آخر أو نقلها من مكان إلى آخر	416
Pumper	ضخاخ: أداة تقوم بضخ الماء أو الهواء أو غاز ما من مكان إلى آخر أو من منسوب إلى آخر	417
Back Pressure	ضغط مرتد	418
Hot Plate	طبق تسخين، أداة تسخين كهربائية مسطحة، تعتبر مكوناً أساسياً في كافة المخابر	419
Biological Bed	طبقة حيوية	420
Molting	طرح دوري: طرح حيوان لجلده القديم، أو أجزاء، (قرون، أظافر،..) واستبداله بآخر جديد	421
Dead-end	طريق مسدود طريق غير نافذ	422
Chromatography	طريقة التحليل اللوني طريقة تهدف إلى تحديد وفصل المكونات الموجودة في محلول اعتماداً على ميلها للامتزاز من قبل مواد صلبة مختلفة	423

Rational method	طريقة الحصص المتساوية	424
Iodometric Method	طريقة اليودية: طريقة معايرة حجمية يستخدم فيها اليود ككاشف دال على انتهاء التفاعل.	425
Dose-Step Method	طريقة جرعة-خطوة	426
Endogenous growth phase	طور النمو الذاتي ضمن سلسلة تطور حشرة ما	427
Declining Growth Phase	طور النمو المتراجع	428
Stationary Phase	طور مستقر	429
Barrel And Socket	طوق وتجويف	430
Aggressive	عُدْوانِيّ ميل الأحماض أو الأسس أو أبخرتها للتفاعل مع المعدات في مصنع أو منشأة أو محطة معالجة	431
Mold	عُفُونَة: كتل واضحة من الميسيليوم الناتجة من فساد الطعام وتحلل النباتات عبر نشاط الفطريات	432
Water tight	عازل للمياه	433
Threshold	عتبة، درجة : حد لقيمة فيزيائية أو رياضية أو ما شابه محدد مسبقاً لا يسمح بتجاوزه	434
Wheelbarrows	عجلة اليد: عربة يد ذات دولاب واحد أو أكثر	435
Enumeration	عد إحصاء عددي لمكون ما أو لظاهرة ما	436
General-Service Compound Meter	عداد خدمة عامة مركب	437
Current (Velocity) Meter	عداد سرعة انسياب أو تيار	438
Positive-Displacement Water Meter	عداد مياه الإزاحة الإيجابية	439
Master Meters	عدادات رئيسة	440
Differential Pressure Gauge	عدادات ضغط تفاضلي	441
Proportional meters	عدادات نسبية	442
Reynolds Number Re	عدد رينولدز: عدد بلا واحدة يستخدم في ديناميك السوائل للتعبير عن القوى الداخلية، يستخدم لتوصيف أنماط الانسياب ، ففي الانسياب الرقائقي تكون قيمته منخفضة، أما في الانسياب المضطرب مع وجود دوامات فتكون قيمته مرتفعة	443

Torque	عزم التدوير: ميل قوة مطبقة على جسم وجعله بالتالي يدور، ويتم تحديده دوماً بالنسبة إلى محور الدوران	444
Weed	عشبة ضارة تنافس المحاصيل الزراعية علـى المـاء والمغذيات والضوء، أما في المناطق الرعوية فهي إما أعشاب سامة أو أعشاب تعافها الماشية	445
Refractory	عصيّة: مواد غير قابلة للتغير أو التفكك بتأثير الحرارة تستخدم في أفران الصهر، وخاصة فـي الـصناعات التعدينية، وفي صناعة المواد العازلة	446
Indicator Organisms	عضويات دالة على وجود تلوّث	447
Blank	عقيم، خالٍ من أي تركيز أو محتوى مادة معينة	448
Turbidity	عكورة: تكدر الماء بسبب وجود مواد فتاتيـة ناعمـة تتراوح أبعادها حول 0.002 mm	449
Cause-And-Effect Relationship	علاقة السبب والتأثير: علاقة تربط مابين نوع العامـل المسبب وشدته واستجابة الوسط الخاضع للمسبب ومدى تأثره	450
Stoichiometry	علم قياس الاتحاد العنـصري: حـساب عـدد أو وزن الجزيئات التي تتفاعل وفقها العناصر أو المركبات مع بعضها البعض	451
Shutoff head	علو الإيقاف: العلو أو الارتفاع الذي يتوقف سير عملية محددة عند الوصول إليه	452
Water head	علو الماء: الضغط المتولد عن وجود جسم مائي علـى ارتفاع معين	453
Head	علو: الضغط المتولد عن وجود جسم مائي على ارتفاع معين	454
Shaft	عمود المحرك، اسطوانة العمود في آلة أو مركبة	455
Line Shaft	عمود انتقال الحركة في آلة	456
Stage	عنصر من أداة ميكانيكية معقدة، طور	457
Cluster	عنقود، كتلة، تجمع مكون من مكونات محلول	457
Grab Samples	عينة عشوائية	458

Carrier Gas	غاز حامل	459
Screen	غربال	460
Travelling Screens	غربال متحرك قابل للنقل من مكن إلى آخر	461
Vee Screen	غربال V غربال مصنوع من أسلاك لها شكل حـرف V	462
Bar Screen	غربال مصنوع من قضبان معدنية لا من الأسلاك كما هو شائع	463
Flash Evaporator Chambers	غرف التبخير السريع يتم فيه رفع درجة الحرارة بشكل مفاجئ ما يتسبب بتبخير سريع	464
Backwashing	غسيل مرتد	465
Septum	غشاء حاجز: غشاء يفصل مابين حجيـرتين، ومثالـه تشريحياً الغشاء الفاصل ما بين حجيرات القلب	466
Membrane	غشاء: طبقة رقيقة تمثل الحدود الخارجية لخلية حيـة، أو حدود حجيرة خلوية داخلية	467
Screw Cap	غطاء حلزوني	468
Grated Cover	غطاء شبكي: غطاء من الحديـد الـصب ذو فتحـات يوضع على فوهات فتحات المجاري	469
Stainless Steel Closure Slip On	غطاء من الفولاذ غير القابل للصدأ ينزلق على فوهـة الأنبوب	470
Sheath	غمد، كيس: بنية في الأنسجة الحية تحيط عـن كثـب ببنية أخرى	471
Flooding	غمر، طوفان، فيضان: ارتفاع منسوب تجمـع مـائي طبيعي أو صناعي أو منسوب مياه الصرف، وانـسيابه على سطح الأرض سواء فـي المنـاطق الطبيعيـة أو المدنية الجافة.	472
Inadvertent	غير متعمَّد أو مقصود، عرضي	473
Heterotrophic	غيرية التغذية	474
Cyclone Separator	فارز أو فاصل عبر حركة إعصارية حلزونية	475
Atmospheric Vacuum Breaker	فاصِل إخلاء الهواء: أداة تمنع ارتداد محلول غير قابل للشرب إلى نظام مياه الشرب	476

Pressure Vacuum Breaker	فاصل إخلاء ضغط: أداة تمنع ارتداد المياه الملوثة إلى مياه الشرب	477
Valving	فتح وإغلاق الصمامات	478
Manholes	فتحات المجارير: فتحات ذات أغطيـة تتـوزع فـي الشوارع بتباعدات محددة تمكن مـن الوصـول إلـى المجارير	479
Control Orifice	فتحات تحكم: فوَّهة يتم التأثير من خلالها بسير عمليـة من عمليات محطة المعالجة	480
Mesh	فتحة غربال، مادة مصنوعة مـن أسـلاك أو خيـوط متشابكة	481
Orifice	فتحة في آلة يتم عبرها تخفيـف الـضغط أو الـتحكم بتشغيل الآلة	482
Runtime	فترة تشغيل، مدة المسار	483
Vitrified Clay	فخار صلصال مزجج	484
Hot-Air Sterilizing Oven	فرن تعقيم بالهواء الساخن	485
Cryogenic Air Separation	فصل الهواء بدرجات حرارة منخفضة	486
Immunomagnetic Separation	فصل مناعي مغنطيسي	487
Ultrasonic	فوق صوتية	488
Hydrant	فوهة حريق تنتهي ببزبوز يمكن ربط خرطوم سـيارة الإطفاء به، سكر رئيسي، حنفية صنبور	489
Animal Viruses	فيروسات يافعة قوية	490
Backflooding	فيض مرتد	491
Malfunction	قُصُور، خَلَلُ في آلة أو نظام تشغيل	492
Buoyant	قابل للطفو: قابلية طفو كتلة من مادة أو كـدرة نتيجـة كثافتها المنخفضة بالنسبة إلى المحلول الحاوي عليها	493
Volatility	قابلية التطاير	494
Viability	قابلية الحياة والنمو، قابلية التطبيق	495
Petresciblity	قابلية للتعفن	496
Corporation Stop	قاطع المؤسسة: أداة قطع رئيسة تـتحكم بهـا منـشأة	497

	التجهيز بالمياه	
Check Float Element	قاطع عائم	498
Curb Stop	قاطع كابح	499
Mortuary	قاعة حفظ الجثث	500
Sewer Ordinance	قانون الصرف	501
Total Coliforn Rule	قانون القولونيات الكلية	502
Statute	قانون أساسي، نظام أساسي	503
Surface Water Treatment Rule	قانون معالجة المياه السطحية	504
Penetrometer	قائس الاختراق: أداة لقياس قساوة مادة عير قياس عمق أو معدل اختراق قضيب مدبب أو إبرة بتأثير قوة محددة	505
Pressure Gauge	قائس الضغط: أحد أدوات لقياس الضغط	506
Pitot Gauge	قائس بيتوت: جهاز لقياس سرعة انسياب السوائل في مختلف الأوساط الطبيعية والصناعية (نسبة إلى الفرنسي بيتوت في القرن الثامن عشر ثم طوّر من قبل دارسي القرن التاسع عشر).	507
Hood	قبعة أو غطاء عازل للماء قابل للطي لتغطية المراجل أو الأحواض بهدف الوقاية من الأبخرة أو الانسكابات	508
Premature	قبل أوانه، خديج، مبكر	509
Pumping Capacity	قدرة الضخ: استطاعة مضخة على ضخ كميات محددة من سائل	510
Assimilative Capacity	قدرة الهضم والتمثل: قدرة المياه على تلقي مياه صرف أو مواد سامة بدون إحداث تأثيرات ضارة أو الإضرار بالحياة المائية وصحة من يستخدمون المياه المتلقية	511
Horse Power Hp	قدرة حصانية: مقياس لقدرة محرك وتعادل 760 واط	512
Intake Capacity	قدرة مادة على الامتصاص أو السحب	513
Zirconium Dye Lake	قرمزي صبغة الزركونيوم	514
Crustacean	قشريات: صف يتمتع بدرع كلسي كيتيني يغطي معظم الجسم	515

Distillate	قطارَة: ناتج التقطير عبر التسخين والتبخير ثم تكثيف البخار	516
Destabilize	قلقلة أو زعزعة استقرار مادة أو نظام، موجودان في حالة توازن	517
Parshall Flume	قناة بارشال الصنعية: قناة صنعية مفتوحة تركب في خندق أو قناة لحساب سرعة انسياب مياه الصرف أو التدفق الخارج من محطة معالجة أو مياه الري	518
Flume	قناة صنعية لنقل المياه، مسيل	519
Regulation	قواعد، تشريعات، نواظم، قوانين	520
Ordinances	قوانين	521
Shell	قوقعة: الجزء الصلب لحيوان رخوي يؤمن له الدفاع عن نفس، هيكل، مبنى غير منجز	522
Maple	قيقب: أحد أنواع أشجار أمريكا الشمالية يزرع لتزيين المروج والحدائق والشوارع	523
Limitations	قيود تفرض على استخدام مادة ما بنسب تتجاوز حدوداً موضوعة مسبقاً	524
Pressure tight	كاتم للضغط: عازل للضغط	525
Cation	كاتيونية: أيون إيجابي الشحنة	526
Hydrophobic	كاره للماء	527
Leak Detector	كاشف التسرب	528
Reagents	كاشف كيميائي: مادة تضاف إلى تفاعل كيميائي يشير تغير لونها إلى انتهائه	529
Benthic	كائنات قاعيّة: كائنات حيوانية أو نباتية تعيش على قاع البحيرات والبحار	530
Rainfall Intensity	كثافة الهطول المطري: غزارة الهطول المطري، وتقاس بالميليمتر	531
Flocs	كدرات، ندفات تجمعات ضعيفة التماسك لجزيئات وكتل صغيرة مع بعضها	532
Airloc Balls	كرات حبس الهواء: كرات يحركها صمام للتحكم	533

	بانسياب الهواء في الأنابيب	
534	كراهية الغير أو العدوانية تجاه الغير	Heterophobic
535	كربون حبيبي منشط: حبيبات من فحم نبـــاتي المنـــشأ معالج كيميائياً لتحسين خصائصه الامتزازيـــة، فغـــرام واحد من الكربون المعالج له سطح نوعي يكافئ 500 متر مربع	Granular Activated Carbon (GAC)
536	كريه، قبيح، بغيض	Objectionable
537	كريه، قذر، فاسد، عفِن، موحل	Foul
538	كشط، قشر، خدش، فرك	Scrape
539	كمون الأكسدة الإرجاع: فرق جهد كهربائي ناتج مـــن وجود جبهة أكسدة إرجاع	Oxidation Reduction Potential (ORP)
540	كييس: كيس صغير يكون عادة ضمن أنسجة الجسم وقد ينفصل عنه ليتحرك بحرية. ويحوي الكييس على نواتج تحلل غير اعتيادية أو بكتيريا أو منتجات ميكروبية	Cyst
541	لا ربحية	Not-For-Profit
542	لاأكسجينية	Anoxic
543	لقمة الحفر أو ريشة الحفر: قطعة تقوم بالحفر مصنوعة من الفولاذ لولبية ذات أشكال مختلفة، تركب في مقدمة المثقب	Drill Bit
544	لوحة تحكم، أدوات التحكم: لوحة تحكـــم بعمليـــة مـــن عمليات محطة معالجة أو مصنع أو أية منشأة	Control Console
545	لوحة مفاتيح مجموعة من الأزرار موجودة في لوحـــة صغيرة ملحقة بآلة أو بحاســـب أو بجهـــاز كهربـــائي للتحكم بمختلف العمليات	Keypad
546	لولب، حلزون	Helix
547	لولبي، حلزوني	Helical

Strainer	مصفاة، غربال	548
Brine	ماء شديد الملوحة منبوذ	549
Saline	ماء مالح يحوي بشكل أساسي على صوديوم كلوريد وأملاح المغنزيوم	550
Brackish	ماء متوسط الملوحة	551
Biocide	مادة سامّة للعضويات الحية	552
Caulk Caulking	مادة مالئة وكاتمة وعازلة للماء تستخدم في أعمال البناء والإصلاحات	553
Manometer	مانومتر: مقياس ضغط باستخدام سائل يكون عادة الزئبق	554
Hydropneumatic	مائي هوائي	555
Gear Reducer	مبطئ مسننات السرعة	556
Insecticide	مبيد حشري: مادة من مجموعة واسعة من المواد الكيميائية تستخدم لقتل الحشرات	557
Durability	متانة آلة أو عمرها أو ديمومة أدائها	558
Concentric	متحد المركز: أشكال هندسية كالدوائر والأقواس وما شابهها لها نفس المركز	559
Amoebas	متحول آميبي: حيوان بروتزوا وحيد الخلية له القدرة على تشكيل أهداب مؤقتة تمكنه من الحركة. يعيش على قاع الجداول والبحيرات، وفي الجهاز الهضمي للإنسان متسبباً بالزحار	560
Parameter	متحول فيزيائي أو رياضي	561
Handrail	متكأ: درابزين مركب على أعمدة أو مثبت على جدار للتمسك به والتثبت عند المسير	562
Inversely Proportional	متناسب عكساً: ازدياد كمية من مادة نتيجة نقص كمية مادة أخرى	563
Progressive	متوال، متدرّج، تصاعدي	564
Sewers	مجارير: أقنية تحت الأرض لنقل مياه الصرف والنفايات	565

Trophozite	مجترات في الطور الأولي من التكاثر اللاجنسي	566
Doctor Blade	مجداف كاشط: صفائح معدنية تكشط الحمأة في وحدات المعالجة	567
Paddle	مجداف لتحريك السوائل في أحواض التهوية بمحطة معالجة	568
Trunk Sewer	مجرور اتصال تبادلي	569
Culvert	مجرور مياه قذرة تحت الطريق	570
National Research Council (NRC)	مجلس البحوث الوطني	571
State Of California Regional Water Quality Control Board (RWQCB)	مجلس التحكم بنوعية المياه الإقليمية لولاية كاليفورنيا	572
Drive Assembly	مجموعة التشغيل أو إدارة التشغيل	573
Raking Assembly	مجموعة تجريف: مجموعة من المعدات تقوم بتجريف الرواسب من قيعان الأحواض في محطات المعالجة	574
Butterfly Control Vane Assembly	مجموعة تحكم دوارة فراشة	575
Hollow	مجوّف	576
Hydrophilic	محب للماء	577
Impounded	محتجز	578
Plunger	محراك	579
Beneficial Soil Amendment	محسنات مفيدة للتربة: مواد تضم عناصر كلسية وجزيئات من الفيرميكوليت والبيرليت والرماد المتطاير لتحسين مواقع المناجم المهجورة والترب الفقيرة	580
Decomposer	محلل: مادة تتسبب بتحلل العضويات	581
Mixed Solution	محلول معلق في حوض التهوية يحوي متعضيات مجهرية باسم المحلول الممزوج	582
Mixed Liquor	محلول ممزوج	583
Buffer	محلول منظم: مركب كيميائي يتصف بقدرته على سرعة التفاعل الكيميائي عند إضافته إليه	584

Autoclave	محم: وعاء من الفولاذ غير القابل للصدأ يمكــن فيــه بلوغ درجات حرارة وضغط عاليين لــه اســتخدامات خاصة في المخابر وتطبيقات خاصة في الصناعة	585
Transducer	محول الطاقة: أداة تقوم بتحويل الطاقة من شكل إلــى آخر	586
Bar Graph	مخطط أعمدة بياني لعرض معطيــات محــددة وفــق متحول كالزمن مثلاً	587
Plot	مخطط بياني	588
Rainfall Duration	مدة الهطول المطري: مدة استمرار الهطول المطــري وتقاس بالدقائق وغالباً بالساعات	589
Duration	مدة، استمرارية، بقاء	590
Compactor	مدحلة: أداة تستعمل لرص مكونات مادة بتطبيق قــوة عليها	591
Rollers	مدحلة: أداة ثقيلة تحدث بحركتها رص حبيبات التربــة أو حصى الطرقات قبل تعبيدها	592
Drive	مدير، الجزء المسؤول عن التشغيل في آلــة، ســواقة الحاسب	593
Solvent	مذيبات: مادة كيميائية سائلة عموماً تذوب فيهــا مــادة أخرى لتشكل محلولاً	594
Recovery	مردودية: نسبة استرداد مواد مفيدة من فضلات منبوذة	595
Spargers	مرذذات مرطبة للهواء	596
Plate-And-Frame Filter Press	مرشح الصفيحة والإطار: تصميم هذا المرشــح هــو المعتمد للترشيح العميق فــي الــصناعات الــصيدلانية والغذائية ومواد التجميل، وفي منشآت توليد الكهربــاء، وهو الترشيح الأخفض كلفةً لواحدة السطح من الــسائل الذي يتم ترشيحه	597
Cartridge Or Large Disk Filter	مرشحات لفائفية أو قرصية	598
Resilient	مرن، مطاطي: صفة العودة إلى الوضع الأولي لمــادة بعد ثنيها أو مطها أو ضغطها	599

Suspended Propeller	مروحة دافعة معلقة	600
In-Line Mixing	مزج خطي على التسلسل مرحلة إثر مرحلة	601
Stock And Sod Farms	مزرعة تربية ورعي الماشية	602
Packed -Tower Decarbonator	مزيل فحم برجي مرصوف بحشوات	603
Porosity	مسامية: النسبة المئوية لحجم الفراغات في مادة ما إلى حجمها الكلي	604
Emulsion	مستحلب، مزيج من سائلين أو أكثر يتوزع فيه أحـدها كقطرات مجهرية أو تحت مجهرية، طبقة حساسة	605
Seeded	مستزرع: بنية توالدية في النبات تحـوي جنينـاً، يـتم إمدادها غالباً بالمغذيات	606
Sensor	مستشعر: أداة تكشف أو تقيس خاصة فيزيائية محددة	607
Drip Pan	مستقطر غسل الرمل: الماء الناتج من غسيل الرمل في وحدات معالجة المياه	608
Indigenous	مستوطنة، فطرية، أصيلة: تـصدر أو تحـدث بـشكل طبيعي في مكان محدد	609
No-Observed-Adverse-Effect Level NOAEL	مستوى عدم ملاحظة تأثير عكسي	610
Watertable	مستوي الماء، منسوب الماء، سطح الماء	611
Static Level	مستوي سكوني	612
Logger	مسجل البيانات	613
Powdered Activated Carbon PAC	مسحوق الكربون المنشط: مسحوق فحم نباتي المنـشأ معالج كيميائياً لتحسين خصائصه الامتزازيـة، فغـرام واحد من الكربون المعالج له سطح نوعي يكافئ 500 متر مربع	614
Bearing	مسند تحميل: أداة تفصل ما بين الأجـزاء المتحركـة وتتلقى الحمولة (رولمان)	615
Nursery	مشتل: مكان يتم فيه أعداد الغراس والشتول وبيعها	616
Outfall Sewer	مصب نهر أو مصب مجرور في جسم مائي	617

Curb	مصد، حاجز، حافة الطريق	618
Stator Baffles	مصدات ساكنة: أداة ثابتة تستخدم لكبح انسياب سائل أو غاز أو مواد فتاتية وتوجيهه وجهة محددة	619
Serological	مصلي: الدراسة العلمية أو الفحص التشخيصي لمصل الدم	620
Progressing Cavity Pumps	مضخات التكهّف المتقدم	621
High Service Pumps	مضخات الخدمة العالية	622
Vertical Turbine Pumps	مضخات النفث الشاقولي	623
Recirculation And Transfer Pumps	مضخات إعادة التكرير والنقل	624
Well Pumps	مضخات بئرية: توضع في البئر لسحب المياه إلى الأعلى	625
Peristaltic Pumps	مضخات تموجية	626
Self-Priming Pumps	مضخات ذاتية الإقلاع	627
Low Lift Pumps	مضخات رفع بسيط	628
Booster Pumps	مضخات معززة مضخات احتياطية جاهزة لوضعها فوراً بالخدمة عند الضرورة	629
Centrifugal Pumps	مضخات نابذة	630
Turbine Pumps	مضخات نفاثة	631
Screw Pump	مضخة لولبية	632
Ejector	مضخة نافورية	633
Photoamplyfier	مضخم ضوئي	634
Burner	مضرم لهب: أداة في آلة تؤمن إشعال اللهب	635
Elastomer	مطاط صناعي: بوليمير يتمتع بمواصفات مرونة	636
Grinder	مطحنة، رحى طاحنة تستخدم لتجزئة المواد إلى كسارات محددة الأبعاد	637
Water hammer	مطرقة مائية: جيشان الضغط نتيجة إجبار الانسياب على التوقف أو تغيير اتجاهه فجأة بسبب إغلاق صمام في نهاية الأنبوب بشكلٍ مفاجئ، الأمر الذي يؤدي إلى انتشار موجة ضغط في الأنبوب	638

Slaker Slake	مطفئ الجير، التسبب بالتسخين والتفتيت بالمعالجة بالمياه	639
Categorical	مطلق: غير مقيّد أو مشروط، صريح	640
Manning Equation	معادلةماننغ: معادلة تجريبية وضعت من قبل الفرنسي غاوكلر 1867 وطورها الألماني ماننغ 1890 لحساب الانسياب في قناة مفتوحة أو على سطح حر بتأثير الجاذبية	641
Roughness Coefficient	معامل الخشونة: مقاومة قاع قناة لانسياب الماء فيها، تراوح قيمته من 0.010 لسطح زجاجي إلى 0.020 لقاع قناة لحقية ذات كثبان رملية، ويرمز له بـ n في معادلة ماننغ	642
Coefficient Of Rigidity	معامل الصلابة: معامل اللدونة تجاه قوة قص	643
Biomass Decay Coefficient	معامل تحلل الكتلة الحيوية	644
Velocity Loss Coefficient	معامل فقد السرعة	645
Elasticity Module	معامل مرونة: مزية جسم عانى تشوهاً بالعودة إلى شكله الأولي بعد زوال القوة المسببة لتشوهه	646
Standards Of Water Works	معايير منشآت مائية	647
Electronic Access Devices	معدات دخول الكترونية	648
Drainage Rate	معدل التصريف: كمية التصريف في واحدة الزمن	649
Peak Hourly Rate	معدل الذروة الساعي	650
Infective	معدية: قادرة على إحداث العدوى	651
Planktonic	معلقة: نسبة إلى المعلقات (البلانكتون) وهي عبارة عن عضويات مجهرية تطفو على سطح المياه العذبة وتتكون بصورة رئيسة من المشطورات والبروتوزوا والقشريات الدقيقة	652
Norm	معيار: انموذج	653
Excretion	مفرزات أو مخرجات بشرية وحيوانية	654
Overflow	مفيض	655

Compressive Strength	مقاومة الانضغاط: مقاومة مادة للكسر نتيجة تطبيق قوة ضاغطة	656
Bioassay	مقايسة حيوية: قياس تركيز مادة أو واحتمال تأثيرها في الخلايا أو الأنسجة الحية	657
Herbivore	مقتاتات بالأعشاب: طيف واسع يبدأ من الحشرات إلى الحيوانات الثديية تعيش على الأعشاب فقط	658
Ingestion	مقدار من مادة يدخل إلى الجسم إما بالابتلاع أو بالامتصاص	659
Capability	مقدرة: كفاءة أداء آلة أو جهاز	660
Landfill	مقلب ردم النفايات	661
Spectrophotometer	مقياس الطيف الضوئي: جهاز يقيس كثافة الضوء في جزء محدد من الطيف وبخاصة الضوء المرسل أو المنبثق من مادة ما	662
Flow Meter	مقياس انسياب مياه الفيضان	663
Bourdon Gauge	مقياس بوردون: جهاز لقياس ضغط السوائل في مختلف الأوساط (نسبة للفرنسي بوردون)	664
Gauge	مقياس جهاز يستخدم لتتقدير ما إذا كانت الأبعاد أكبر أو أصغر من قيمة مرجعية	665
Atomic Absorption Spectrometer	مقياس طيف الامتصاص الذري مقياس يقوم لكشف وتحليل الأطوال الموجية الممتصة من الطيف الكهرومغنطيسي	666
Photoelectric Colorimeter	مقياس لوني ضوئي كهربائي اعتماداً على قياس الجسيمات المشحونة المنطلقة من مادة نتيجة امتصاصها طاقة إشعاعية	667
Colorimeter	مقياس لوني: جهاز لقياس كثافة اللون	668
Office High-Rises	مكاتب في أبنية متعددة الطوابق مخصصة بشكل أساسي لاستخدامها كمكاتب .	669
Us Weather Bureau	مكتب الطقس الأمريكي	670
Insurance Service Office (ISO)	مكتب خدمات التأمين	671

Filament	مكونات خيطية أو عصوية توجد بشكل خاص في البنى النباتية والحيوانية	672
Mortar	ملاط: مادة جامعة بين مكونات مادة ما	673
Wire Attachment	ملحق سدي	674
Appurtenance	ملحقات فرعية، أدوات	675
Ancillary	ملحقة إضافية توفر دعماً للنشاطات الأولية للعضويات	675
Wound	ملفاف	676
Access Walkway	ممر الوصول إلى مكان أو إلى موقع محدد أو قسم أو وحدة ضمن منشأة أو محطة معالجة	677
Feasible	ممكن التحقيق، ملائم، مناسب، عملي، معقول	678
Access Ports	منافذ الوصول إلى مكان ما، أو إلى شبكة الإنترنت	679
Modular	منتظم، معيارى، تركيبى	680
Facility	منشأة أو مرفق يقوم بتقديم خدمات أساسية لاحتياجات يومية ضرورية للمجتمع ورفاهيته	681
Water Utility	منشأة مائية: منشأة عامة تقوم بتأمين إيصال المياه النظيفة إلى مختلف المناطق والفعاليات	682
Waterworks	منشأة مائية: منشأة عامة تقوم بتأمين إيصال المياه النظيفة إلى مختلف المناطق والفعاليات	683
Utility	منشأة نفع عام من قبيل منشآت المياه والصرف الصحي	684
Travelling Rake	منصب متحرك قابل للنقل من مكان إلى آخر	685
Mount	منصب مرتفع لتدعيم تثبيت قطعة في آلة	686
Trash Rack Rake	منصب مشطي للنفايات، أداة معدنية مرتفعة كمنصب ترمي النفايات عليها لفرزها	687
Rotating Table	منصة دوارة	688
Plan View	منظر علوي لمخطط	689
Waterborne	منقول بالماء	690
Brush Aerators	مهويات ذات فراشي	691
Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)	مواد صلبة معلقة طيارة في محلول ممزوج	692
Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)	مواد صلبة معلقة في محلول ممزوج	693

Surfactant	مواد مؤثرة في السطوح	694
Counterbalanced	موازن عكسياً: قوة أو تأثير مكافئ ومعاكس	695
Air Headers	موجهات الهواء معدات تقوم بتوجيه تيارات الهواء نحو سطوح الخزانات	696
Genetic	مورثاتي: متعلق بالمورثات والأصل المشترك.	697
Bubbler	مولد فقاعات جهاز يمكنه تقديم الهواء إلى الحمأة بشكل فقاعات لزيادة انتشار الهواء فيها تأمين أوسع أكسدة	698
Downspouts	ميازيب، ممرات انسياب	699
Scale-Forming Water	مياه مرسبة للقشور: مياه حاوية على أملاح كالسيوم ومغنزيوم مذابة يؤدي ترسبها إلى تشكل قشور عند وصلات الأنابيب أو الصنابير	700
Rejected Water	مياه منبوذة غير قابلة للاستهلاك	701
Finished Water	مياه نهائية: الناتج النهائي لعملية المعالجة في محطة معالجة	702
Methemoglobinemia	ميتهيموغلوبينيَّة الدَّم: مرض يصيب خضاب الدم عبر تشكل صيغة مؤكسدة ثابتة للخضاب لا يمكنها تقديم الأكسجين للخلايا للأنسجة	703
Dialysis	ميز غشائي: فصل الجزيئات الغروية المعلقة عن الأيونات المذابة في محلول عبر التباين في معدلات الانتشار عبر مسام غشاء نصف نفوذ	704
Gutter	ميزاب، قناة ضيقة على جانب الطريق لتصريف المياه	705
Features	ميزات أساسية تمثل جزءاً كبيراً وأساسياً من المظهر العام	706
Slope	ميل أو انحدار: الزاوية التي يصنعها سطح ما مع مستوى أفقي وهمي	707
Pervious	نَفوذ: يسمح للماء أو الغازات بالمرور من خلاله	708
Diffuser	نافثات	709
Drip Emitters	نافثات قطرات الماء بمعدل يمكن التحكم به، تستخدم على نطاق واسع في أنظمة الري الحديثة	710

Blower	نافخات الهواء: أداة لخلق تيار هواء بهدف تجفيف أو تسخين مادة ما	711
Self-Propelled Transport	ناقل ذاتي الدفع	712
Nitrification	نترتة: تحويل مركبات الأمونيا والمركبات الحاوية على نتروجين إلى نترات أو نتريت	713
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	نتروجين كيلدال الكلي: كمية النتروجين المحسوبة وفق طريقة العالم كيلدال والتي تقوم على غلي العينة بحمض السولفوريك لتفكيك المادة العضوية وأكسدتها بهدف تحرير الأمونيوم ثم إمساك الأمونيا عبر تحويل الأمونيوم إلى أمونيا، وتنتهي بحساب كمية النتروجين الكلي بواسطة معايرة تراجعية باستخدام حمض البوريك وصوديوم كربونات	714
Guide	نتوء توجيه للإرشاد إلى كيفية تركيب ووصل قطعة مع أخرى ضمن آلة	715
Dewatering	نزع الماء بالتجفيف بالهواء أو بالفرن أو بعمليات كيميائية	716
Stripping	نزع مادة من تجمع مواد، فك آلة	717
Disinfection/Disinfection by product (D/Dbp)	نسبة التعقيم إلى النواتج الجانبية للتعقيم	718
Food-To-Microorganism Ratios F/M	نسبة غذاء-متعضيات مجهرية غذ/عم	719
Texture	نسيج: ترتيب المكونات بالنسبة لبعضها بعضاً	720
Semi permeable	نصف نفوذة: مادة أو غشاء يسمح بمرور سوائل أو غازات محددة عبره	721
Depletion	نضوب: استنزاف حيز كبير من المادة	722
Saturation zone	نطاق الإشباع: النطاق العلوي من تربة تكون فيه كافة المسام مملوءة بالماء نتيجة الري أو المطر	723
High Pressure Air Burst	نظام اندفاع هواء عالي الضغط	724
Looped Or Grid System	نظام حلقي أو شبكي	725
Hazardous waste	نفايات خطرة نتيجة احتوائها على مواد تتباين درجة خطورتها وسميتها	726

Permeablility	نفوذية: قابلية مادة على السماح لسائل أو لغاز بالمرور عبر المسام الموجودة فيه	727
Junction	نقاط اتصال مابين مكونين في آلة أو بين أنبوبين أو ما شابه	728
Deficiency	نقص في أحد المكونات أو الاحتياج إليه، خلل في أداء أحد المهام	729
Best Efficiency Point	نقطة التشغيل الأفضل لآلة أو لجهاز يكون فيهـا الأداء واستهلاك الطاقة نموذجيان	730
Node	نقطة في شبكة تتقاطع فيها الخطوط أو تتفرع منها	731
Bingham Plastic Model	نموذج بينجهام اللدن: نموذج مكـون مـن متحـولين لوصف خصائص انسياب السوائل ثقيلة القـوام مثـل سائل حفر الآبار والحمأة وما شابهها	732
Recessed End	نهاية معزولة في شبكة أنابيب	733
Dormant	هاجعة: لا تبدي أعراضاً راهنة لكنهـا قـادرة علـى النشاط في ظروف مناسبة	734
Fuming	هائج ذو أبخرة	735
Maximum Contaminant Level Goal (MCLG)	هدف المستوى الأعظمي لملوث	736
Osteoporoses	هشاشة العظام: مرض يتسم بخسارة عامة فـي كثافـة العظام متسبباً بضعف هيكلي	737
Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion ATAD	هضم هوائي ذاتي الحرارة ومحب للحرارة	738
Lagoon	هور، لاغون: بحيرة ضـحلة ذات ميـاه هادئـة ذات اتصال بالبحر ويحجزه عنها حواجز رملية أو جزريـة أو أرصفة مرجانية	739
Wire Fabric	هيكل سلكي	740
Jackson Turbidity Unit (JTU)	وحدات عكورة جاكسون	741
Nephelometer Turbidity Unit (NTU)	وحدات عكورة نيفيلومترية: وحدات عكورة باسـتخدام النيفيلومتر، وهو جهاز يقيس كميـة جزيئـات المـواد الصلبة المعلقة لغرويات سائل أو غاز باستخدام مصدر حزمة ضوء وكاشف ضوئي يميل بزاوية 90° علـى	742

	المصدر. كمية الجزيئات تابعة للضوء المنعكس من على الجزيئات إلى الكاشف، إضافة إلى شكلها ولونها وإلى عكسها للضوء.	
743	وحدة الملفاف المغزلي	Spiral Wound Module
744	وحدة تشكل الصفائح: مقياس لعدد الجزيئات كالفيروسات القادرة على تشكيل صفائح في واحدة الأحجام، وهو مقياس كيفي أكثر من كونه كمياً	Plaque Forming Unit
745	وحدة لقياس السوائل تبلغ ثمن غالون ما يكافئ نصف لتر تقريباً	Pint
746	وحدة هندسية تعتمد لتنظم أبعاد ونسب وتشييد المبنى أو المنشأة	Module
747	وحل طين غروي زلق	Slime
748	وحيد الاتجاه: انسياب أو شعاعي يتحرك في وسط وفق اتجاه واحد وحيد	Unidirectional
749	ورق احتمالية لوغاريتمي: ورق خاص ستخدم لتحميل بيانات ذات قيم متباينة للغاية	Logarithmic Probability Paper
750	وسطي الانسياب الساعي	Mean
751	وسم: سمة أو رمز يدون على قطعة من الورق أو بالبلاستيك تربط بجسم ما تحوي معلومات محددة عنه	Labeling
752	وصلات انضغاطية	Compression Joint
753	وصلات أنابيب لها شكل حرف T	Tees
754	وصلات بينية بين أنابيب رئيسية أو بين وحدات بنيوية	Interconnections
755	وصلة تصل طرف أنبوب له شكل كأس مع طرف أنبوب آخر له شكل سدادة	Bell & Spigot joint
757	وصلة مقيدة الحركة	Restrained Joint
758	وصلة منحنية (عنق الأوزة) أنبوب منحني له شكل S	Gooseneck
759	وصلة، مفصل مابين مكونين في آلة أو بين أنبوبين أو ما شابه	Joint

Basic Cost Functions	وظائف خدمية أساسية تقدمها منشأة ذات نفع عام للسكان	760
Clear Well	وعاء الماء المرشح: وعاء يوضع تحت المرشحات لجمع الماء المرشح	761
Hopper	وعاء قمعي الشكل (قادوس): وعاء يحوي مواد مفتتة أو سائلة يضيق باتجاه الأسفل حيث ينتهي بفتحة لتفريغ محتوياته	762
Environmental Protection Agency (EPA)	وكالة الوقاية البيئية	763
Draw	يجر يتقدم تدريجيا	764
Drain	يرشح، يسيل، يصرف	766
Rinse	يشطف يغسل	767
Wrap	يطوّق، يغطّي، يلفّ	768
Encapsulate	يغلف، يحتضن، يحيط	769
Obligate	يلزم بنمط حياتي مفروض ومحدد، يلزم بواجب	770
Oocyst	بيضة متكيسة غير ناضجة	771

فهــرس

- ب -

ـ ت ـ

- خ -

- د -

- ذ -

- ر -

- ص -

- ض -

- ط -

- ع -

- غ -

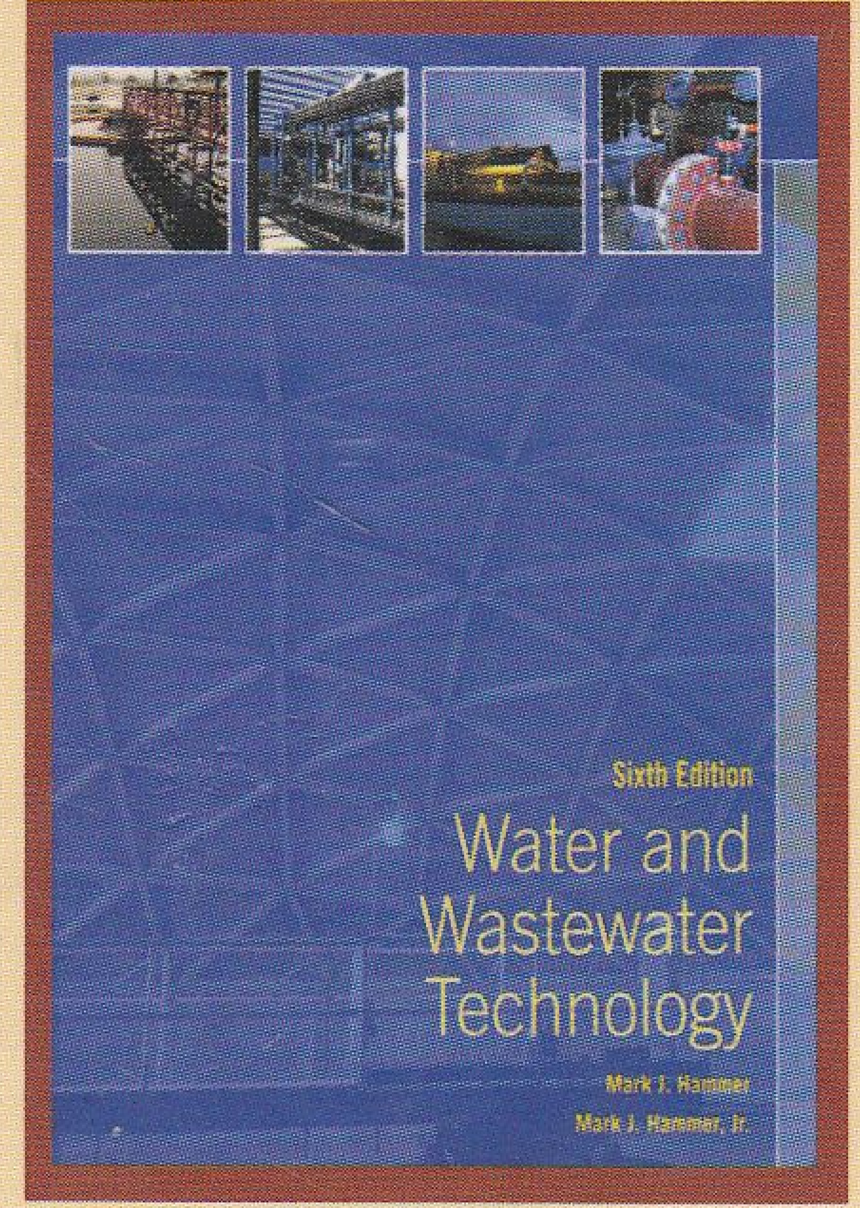
ـ ف ـ

- ك -

- ن -

- ي -

الماء وتقنية مياه الصرف(*)



(*) الكتاب الثاني من المياه

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيمياء
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة

السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: يعرض هذا الكتاب المبادئ الأساسية في مجال معالجة المياه، ويوفّر القاعدة الضرورية من المعلومات المتعلقة بالتقنيات الخاصة بكيفية إدارة المياه المبتذلة، وذلك من خلال الإفادة من علوم الكيمياء والبيولوجيا والهيدروليات وغيرها.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه المواضيع كلها عولجت بطريقة تهدف إلى تمكين القارئ من رؤية العلاقة المتداخلة بين الوحدات المتفاعلة ونظم تكاملها بشكل عام.

المؤلف: **مارك ج. هامر**: أستاذ مادة الهندسة المدنية/ جامعة نبراسكا - لنكولن، الولايات المتحدة.

مارك ج. هامر، جونيور: حائز درجة ... في الهندسة، وهو مستشار مستقل ... نبراسكا - لنكولن، الولايات المتحدة.

المترجم: **يوسف رضوان**: ماجستير في تط... الاستشعار عن بُعد في الجيولوجيا ال... عضو فريق الدراسات الزلزالية/ ... دمشق.









المنظمة العربية للترجمة

الثمن: 56 دولاراً أو ما يعادلها

ISBN 978-9953-82-388-1

